



MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL  
DEL INSTITUTO NACIONAL  
DE METEOROLOGÍA

Nota Técnica número 3  
del Servicio de Variabilidad y Predicción  
del Clima (INM)

**SIMULACIONES CLIMÁTICAS  
EN LA PENÍNSULA IBÉRICA**

**INFLUENCIA DEL TAMAÑO DEL ÁREA  
DE INTEGRACIÓN Y DE LA  
ESPECIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES  
DE CONTORNO EN UN MODELO  
CLIMÁTICO REGIONAL**



24 JUL 2000

# **SIMULACIONES CLIMÁTICAS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA**

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DEL ÁREA DE  
INTEGRACIÓN Y DE LA ESPECIFICACIÓN DE LAS  
CONDICIONES DE CONTORNO EN UN MODELO  
CLIMÁTICO REGIONAL

---

**Nota Técnica núm. 3**

Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima  
Instituto Nacional de Meteorología

**DOLORES OLMEDA GORDO**

Nota técnica n° 3  
*del Servicio de Variabilidad  
y Predicción del Clima del I.N.M*

Edita: Centro de Publicaciones  
Secretaría General Técnica  
Ministerio de Medio Ambiente ©

I.S.B.N.: 84-8320-111-9  
NIPO: 310-00-050-3  
Depósito Legal: M-20698-2000

Imprime: Centro de Publicaciones

Impreso en papel reciclado

# **Simulaciones climáticas en la Península Ibérica**

Influencia del tamaño del área de  
integración y de la especificación  
de las condiciones de contorno en  
un modelo climático regional

Dolores Olmeda Gordo



## Resumen

El objetivo del proyecto estriba en el estudio de determinados aspectos de la técnica de regionalización denominada "anidamiento" (nesting) sobre la Península Ibérica, y más en concreto, el impacto del tamaño del área de integración y de la asimilación de las condiciones de contorno laterales.

El modelo climático utilizado ha sido el RegCM2, perteneciente a la segunda generación de sistemas de modelización climática regional, desarrollado por el "National Center for Atmospheric Research" (NCAR) en Boulder, Colorado.

Las integraciones se han llevado a cabo en distintas áreas, siempre englobando la Península Ibérica, y han correspondido a los meses de enero y febrero de 1996.

Las variables estudiadas son: la presión al nivel del mar (SLP), el geopotencial de la superficie isobárica de 500 hPa y la precipitación.

Los resultados obtenidos son coherentes en cuanto a la SLP y geopotencial. Su comportamiento es asintótico con las dimensiones del área y la especificación de las condiciones de contorno.

Sin embargo, no ocurre lo mismo con la precipitación, variable cuya estimación aumenta al incrementar el dominio de integración.



## INDICE

Introducción .....	4
Técnica de regionalización "nesting" .....	6
Descripción del modelo RegCM2 de NCAR .....	8
Descripción del proyecto .....	18
Conclusiones .....	31
Agradecimientos .....	32
Bibliografía .....	33
Anexo 1 .....	35
Figuras .....	36

## INTRODUCCIÓN

El interés despertado en la comunidad científica internacional ante un posible cambio climático, no ha dejado de crecer en los últimos años.

Para desarrollar una teoría adecuada del clima y del cambio climático es necesario simular, mediante modelos numéricos, los diferentes mecanismos de retroalimentación y las interacciones entre las distintas componentes del sistema climático: atmósfera, hidrosfera, criosfera, biosfera y geosfera.

Se acepta de forma unánime la idea de que los modelos de circulación general (GCM), en los que se representa la Tierra en su totalidad, simulan con acierto las características atmosféricas a escala global. De igual manera, existe unanimidad en que, puesto que los GCM proporcionan datos en puntos de rejilla separados una distancia del orden de 500 km, la utilidad de tales datos en la descripción de las características regionales es, cuando menos, dudosa.

Los primeros modelos climáticos globales, se desarrollaron en los años 80, con resoluciones entre los 500 km y los 800 km. La razón fundamental que hace inviable el uso de GCMs de alta resolución para estudios de cambio climático es la gran capacidad de cálculo necesaria para realizar largas integraciones de modelos globales complejos, sobre todo si a los modelos atmosféricos se le acoplan otras componentes como océanos, hielos, biosfera, etc..

Por otra parte, en muchas regiones del globo, la distribución espacial de variables climáticas como la precipitación o la temperatura están reguladas por forzamientos de tipo local ( complejidad del terreno, distribución de líneas de costa, etc..) que no resuelven la mayoría de los modelos globales. En el caso concreto de la Península Ibérica, los sistemas montañosos más notables no se representan adecuadamente.

En este sentido, para una correcta simulación del clima regional en la de la Península Ibérica y su entorno, serían necesarias resoluciones del orden de 50 km, que permitiesen la descripción adecuada de las características topográficas.

## TÉCNICA DE REGIONALIZACIÓN "NESTING"

A principios de esta década el Dr. Filippo Giorgi, del "National Center for Atmospheric Research (NCAR)" en Boulder (Colorado) y su equipo estudiaron la posibilidad de alcanzar altas resoluciones anidando un modelo de área limitada (LAM) en un modelo de circulación general (GCM). Esta técnica (**nesting**) consiste en, tomar las salidas procedentes del modelo global como condiciones iniciales y de contorno para integrar el LAM.

La clave es usar un GCM de baja resolución para simular la respuesta de la circulación general a los forzamientos climáticos globales y, al mismo tiempo, obtener una distribución regional detallada de las variables climáticas integrando el LAM de alta resolución (guiado por el GCM) para describir los efectos de forzamientos locales.

De este modo, ante un forzamiento a gran escala dado, el modelo de área limitada (LAM) o, lo que es lo mismo, el modelo climático regional (RegCM), describe los efectos físicos de los forzamientos locales asociados con una topografía compleja, líneas de costa, vegetación de la superficie o grandes extensiones de agua.

Dickinson et al. (1989) y Giorgi (1990) aplicaron esta técnica por primera vez a la simulación del clima del Oeste de EE.UU. Para ello usaron las salidas del NCAR Community Climate Model (version CCM1) como condiciones iniciales y de contorno de una versión del Pennsylvania State University/NCAR Mesoscale Meteorological Model (version MM4).

En su análisis quedó claro que, si bien el CCM1 representaba la climatología a gran escala de una forma bastante realista, no captaba los efectos inducidos por la topografía local. Por el contrario, el MM4 representaba bastante bien estas características.

Desde entonces se han realizado multitud de experimentos que han de-

mostrado la utilidad de la técnica "nesting" como una herramienta potente para estos propósitos.

Se han llevado a cabo varios experimentos de validación del RegCM, sobre regiones de EE.UU. y de Europa. Tomando, en primer lugar, como condiciones iniciales y de contorno, análisis procedentes de observaciones y, posteriormente, anidando dicho modelo en el global CCM1.

F. Giorgi junto con colaboradores de la "Climate Change Research Section" (CCR) del NCAR, han desarrollado, evaluado y puesto a disposición de la comunidad científica internacional este sistema de modelización, aplicable a estudios climáticos en la escala regional. Esta técnica es usada también, entre otros, por el Max Planck Institut de Hamburgo y por el Hadley Centre de Inglaterra.

En los últimos cinco años, la plantilla del CCR junto con algunos científicos invitados y el apoyo de varias agencias como NOAA etc. han desarrollado una segunda generación del RegCM, llamado **RegCM2**.

El RegCM2 se puede integrar tanto en superordenadores CRAY como en estaciones de trabajo. Una versión actualizada del modelo está disponible en un servidor del CCR y se puede obtener via FTP. También cuenta con un manual de usuario.

En la actualidad cerca de 20 grupos de todo el mundo usan el RegCM2 o bien, alguna de sus componentes. El RegCM2 del NCAR se ha aplicado en una amplia gama de estudios que incluyen entre otros, simulaciones del clima actual, experimentos climáticos de duplicación de la concentración de CO<sub>2</sub> y simulaciones paleoclimáticas. Los experimentos se han aplicado no sólo a regiones de EE.UU. sino a otras como Europa, el este de Asia, Australia y Africa. Como condiciones frontera se han utilizado: a) análisis del "European Centre for Medium-Range Weather Forecasts" (ECMWF). b) salidas de diferentes GCMs. Por lo que respecta a las resoluciones utilizadas, se encuentran entre los 20 y 90 km.

## DESCRIPCIÓN DEL MODELO RegCM2

EL RegCM2 forma parte de una segunda generación de sistemas de modelización climática regional que han sido desarrollados en el NCAR en los últimos cinco años, en la Climate Change Research Section (CGD Division).

Varias parametrizaciones físicas del MM4 original se modificaron para adaptarlas a las integraciones a muy largo plazo, propias de las simulaciones climáticas.

Basado en el National Center for Atmospheric Research-Pennsylvania State University Mesoscale Model (MM4), el RegCM2 incluye nuevas formulaciones de: la capa límite planetaria (PBL), transferencia radiativa, procesos de superficie, convección y técnica de integración temporal. Esta nueva versión dispone de un tratamiento más completo de los procesos físicos y es más eficaz en cuanto a tiempo de cálculo se refiere.

### 1) DINÁMICA DEL MODELO

La estructura dinámica del RegCM2 es esencialmente la misma que la del MM4, excepto por lo que se refiere al uso de un nuevo esquema de integración temporal (el "split-explicit" de Madala-1981) que mejora la eficacia del modelo.

Con el uso de este esquema se reduce el tiempo de integración casi en la mitad, ya que permite una duplicación neta del paso de tiempo original sin pérdida de precisión. Básicamente, el esquema lo que hace es utilizar pasos de tiempo más cortos para resolver la dinámica de los dos modos gravitatorios más rápidos, y pasos de tiempos más largos para el resto de las componentes.

El MM4 es un modelo: de ecuaciones primitivas, hidrostático y compresible, que utiliza como coordenada vertical  $\sigma$  donde:

$$\sigma = \frac{p - p_{top}}{p_s - p_{top}} \quad (1)$$

Siendo "p" la presión, "p<sub>top</sub>" la presión en el límite superior de la atmósfera y "p<sub>s</sub>" la presión en superficie.

Las superficies de  $\sigma = \text{cte}$  se adaptan a las irregularidades del terreno, lo que hace que sean más adecuadas para expresar las condiciones de contorno inferiores.

El modelo utiliza rejillas alternadas. La difusión horizontal se realiza en coordenadas  $\sigma$ . La difusividad horizontal se reduce en presencia de gradientes topográficos a fin de minimizar las posibles difusiones espurias de humedad y temperatura a lo largo de las pendientes.

## 2) FÍSICA DEL MODELO

El problema más importante de cualquier simulación numérica es la representación de aquellos procesos físicos que ocurren a escalas espaciales o temporales demasiado pequeñas para ser resueltas explícitamente por el modelo.

Al contrario de las ecuaciones diferenciales originales que describen todos los movimientos atmosféricos, las ecuaciones discretizadas describen tan sólo aquellas escalas que son de un orden similar al de la rejilla. Dado que la resolución de los modelos difícilmente es superior a los 100 km, los procesos atmosféricos de escalas menores quedan excluidos. Sin embargo, no se puede olvidar que los movimientos convectivos y turbulentos, que son de orden inferior, transportan flujos de calor sensible, vapor de agua y cantidad de movimiento, que afectan al flujo medio.

Puesto que los modelos no incluyen procesos a escala subrejilla, sólo pueden ser tenidos en cuenta sus efectos estadísticos en el flujo medio y, estos se expresan en función de parámetros a gran escala. El procedi-



matemático empleado para ello se denomina "parametrización"

Las parametrizaciones incluyen los procesos físicos, bien de escala subrejilla no resueltos por la discretización de las ecuaciones, o bien aquellos procesos que, por su excesiva complejidad, requerirían la introducción de ecuaciones adicionales, como es el caso de la radiación.

## 2.1) ESQUEMA RADIATIVO

Es el usado por el CCM2 (segunda version del Community Climate Model).

Los flujos de superficie y calor los calcula de forma separada tanto para la radiación infrarroja como para la radiación solar, y en condiciones de cielo despejado y de cielo nuboso.

En los cálculos de las transferencias de radiación infrarroja se tiene en cuenta la contribución de  $CO_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$  y de las nubes. Estas últimas se tratan como cuerpos grises cuya emisividad depende del contenido total de agua de nube.

Para la radiación solar se tienen en cuenta los efectos del  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$  y  $O_2$  y se emplea la aproximación  $\delta$ -Eddington de Briegleb (1992). Incluye 18 intervalos espectrales que van desde  $0.2 \mu$  a  $5 \mu$ . Las propiedades ópticas de las gotitas de nube se expresan en contenido de agua líquida y radio efectivo.

Se define una cobertura nubosa para cada punto de rejilla que es función de la humedad relativa. El espesor de una capa nubosa es el de la capa del modelo. Se supone distinto contenido de agua para las nubes medias que para las bajas (a estos efectos los cúmulos se tratan como nubes bajas).

## 2.2) TRATAMIENTO DEL SUELO

El tratamiento de los procesos de intercambios entre la atmósfera y el suelo se lleva a cabo mediante el acoplamiento del "Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e".

El BATS se ha diseñado para describir el papel que juegan la vegetación y la humedad del suelo en los intercambios de cantidad de movimiento, energía y vapor de agua entre la superficie y la atmósfera.

Consta de varias capas: una vegetal, una de nieve y otra de suelo que a su vez, consta de otras tres: una de 10cm de espesor, otra más profunda (en la zona de las raíces) de espesor variable y una tercera a unos 3 m de profundidad.

El objetivo del paquete BATS es:

- determinar la fracción de radiación solar incidente que absorbe cada superficie y el intercambio neto de radiación infraroja.
- calcular las transferencias de momento, calor sensible, y humedad entre la superficie de la tierra y las capas atmosféricas.
- fijar los valores del viento, humedad y temperatura de la cubierta vegetal al nivel de las observaciones de superficie.
- determinar la temperatura y humedad de la superficie terrestre, incluyendo el contenido de humedad del suelo, el exceso de lluvia que se convierte en escorrentía y, la presencia de nieve o agua.

Para ello el BATS1e incluye:

- Asignación de un tipo de suelo a cada punto de rejilla.
- Cálculo de la temperatura del suelo, de la nieve o del hielo marino como respuesta al calentamiento neto. Temperaturas que son función de la capacidad calorífica y de la conductividad térmica de cada superficie.

- Cálculo de la humedad del suelo, de la evaporación y de la escorrentía.
- Especificación de la cubierta vegetal y de áreas con plantas transpirables y no transpirables para los distintos usos de suelo.
- Albedo de las superficies expresado en función de la humedad del suelo, de la cubierta vegetal y de la cubierta de nieve.
- Contenido de agua en las plantas, incluyendo la almacenada en tallos y hojas, precipitación interceptada y transpiración, que estará limitada por la resistencia de los estomas y la humedad del suelo.
- Coeficientes de arrastre de la superficie en función del número de Richardson y de la cubierta vegetal.
- Temperatura de las hojas como respuesta a los balances energéticos requeridos y los consiguientes flujos de calor y humedad desde las hojas al aire que las rodea.

### 2.3) CAPA LÍMITE PLANETARIA

El uso del BATS requiere una representación explícita de la capa límite planetaria, comúnmente denominada PBL (Planetary Boundary Layer) en la que la altura de la capa más baja es del orden de decenas de metros.

El esquema utilizado en el RegCM2 es el de Holstag et al.(1990), que representa a nivel local los transportes en la PBL. Con este esquema los perfiles verticales de humedad y nubes son más realistas.

Los transportes verticales de humedad, momento y calor están representados por un término de difusión turbulento que incluye además los debidos a la convección profunda .

### 2.4) PARAMETRIZACIÓN DE NUBES

Hay varios esquemas disponibles en el RegCM2:

A) El de convección de cúmulos de Kuo modificado y que básicamente consiste en lo siguiente:

La precipitación se inicia cuando la convergencia de humedad en la columna excede un umbral determinado y la columna es convectivamente inestable. Una parte de la humedad precipita y la sobrante se reparte por toda la columna según la sequedad de cada capa.

Giorgi(1991) hizo una modificación que consistió en suponer que la liberación de calor latente y precipitación producidos no se realizaba instantáneamente sino con un retraso de 6 horas. Esto mejoraría el problema de excesiva precipitación que se daba en el esquema original.

B) El de parametrización de cúmulos de Grell (1993, manuscrito no publicado), utilizado en este trabajo, y que opera del siguiente modo:

Las nubes constan de dos circulaciones estacionarias, una corriente ascendente y otra descendente en las que no existe mezcla del aire de la nube con el del ambiente, excepto en la base y en la cima de estas circulaciones.

Se supone un modelo de nube simple en el que los flujos de masa en las corrientes ascendentes y descendentes no varían con la altura y los niveles inferior y superior en los que se originan las corrientes son los de máxima y mínima energía estática húmeda respectivamente. El esquema se activa cuando una burbuja que asciende debido a convección húmeda alcanza el nivel de condensación. Se comporta entonces como una burbuja saturada ascendiendo.

El esquema se puede cerrar de dos formas: bien suponiendo que las nubes eliminan la energía en un tiempo dado, o bien suponiendo que éstas estabilizan el ambiente a la misma velocidad que lo desestabilizan los movimientos a gran escala.

C) El de Hsie et al.(1984) para la precipitación de origen no convec-

tivo, denominado "explicit moisture scheme" que incluye una ecuación de pronóstico para la proporción de mezcla, tanto de agua de nube como de lluvia.

El enfriamiento producido por la evaporación en las corrientes descendentes está también incluido.

Para este trabajo se ha utilizado el esquema de representación de convección en cúmulos de Grell, acoplado con el de Hsie para el tratamiento de la lluvia no convectiva.

## 2.5) ASIMILACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS FRONTERAS LATERALES

Las condiciones de contorno proporcionan las estructuras atmosféricas que guían los sistemas sinópticos representados por el modelo regional. Con esta información el RegCM simula circulaciones de alta resolución inducidas por los forzamientos locales superpuestos a los grandes sistemas. Por lo tanto el modelo debe asimilar las condiciones frontera de tal forma que las grandes circulaciones generadas por el RegCM sean consistentes con los campos a gran escala.

Por otro lado, el modelo ha de ser capaz de producir información de alta resolución basada en su física interna. Es decir, se debe procurar evitar que estos campos directores ejerzan un forzamiento excesivo, para no eliminar la información interna mesoescalar.

En los laterales del dominio, que denominaré a partir de ahora "zona de transición" (buffer zone), se fuerza a que las soluciones del modelo y los valores de las variables procedentes de los campos directores converjan de forma consistente.

Las condiciones frontera dominan en la región exterior de la "zona de transición", mientras que la física del modelo lo hace en el interior del

dominio.

Por otro lado, el dominio elegido deberá ser lo suficientemente grande para darle al modelo espacio y tiempo suficiente para desarrollar estructuras mesoescalares consistentes con sus propios forzamientos de alta resolución.

El RegCM2 utiliza el procedimiento de relajación de Davies and Turner(1977) del MM4. Este procedimiento se basa en un término de difusión newtoniano que gradualmente guía la solución del modelo para las dos componentes del viento, la temperatura, la proporción de mezcla y la presión en superficie hacia los valores específicos de gran escala dentro de la "zona de transición".

A la ecuación de la tendencia del modelo se le añade un término relativo a las condiciones de contorno, que para la variable  $\alpha$  es del tipo

$$\left(\frac{\partial \alpha_M}{\partial t}\right)_n = F(n)F_1(\alpha_{LS} - \alpha_M) - F(n)F_2\nabla^2(\alpha_{LS} - \alpha_M) \quad (2)$$

donde LS y M se refieren a los campos de gran escala y del modelo respectivamente. El índice "n" indica la posición del punto de rejilla contando desde el borde exterior y  $F_1$  y  $F_2$  son :

$$F_1 = \frac{0.1}{\Delta t} \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{\Delta s^2}{50\Delta t} \quad (4)$$

siendo  $\Delta t$  y  $\Delta s$  el paso de tiempo y la resolución del modelo respectivamente.

En el esquema original  $F(n)$  decrecía linealmente en una "buffer zone" de tan sólo tres puntos de rejilla de ancho.

Giorgi et al. (1993a) en sus experimentos en el Oeste americano encontraron precipitaciones espurias en los bordes debido precisamente a la

incongruencia entre los campos. También encontraron gradientes muy fuertes e inestabilidades en niveles altos, por lo que dedujeron que una "buffer zone" de tan solo tres puntos era demasiado estrecha para dominios grandes. Decidieron entonces usar un área más ancha y una función exponencial en lugar de la lineal para el  $F(n)$ , de la forma :

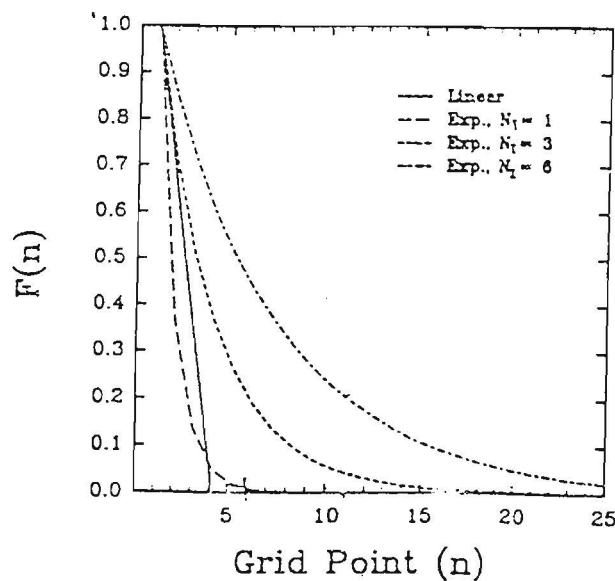
$$F(n) = \exp \left[ -\frac{(n-2)}{N_1} \right] \quad (5)$$

siendo  $N_1$  una constante.

Comparada con la lineal, la representación exponencial supone un mayor control de las condiciones de contorno en las regiones próximas a los laterales y una suave transición hacia el interior del dominio.

Por ejemplo, el valor de  $F(n)$  decrece hasta 0.05 ( punto de rejilla en el cual el 5% de la solución se atribuye directamente a las condiciones en la frontera ) para  $n = 4, 11, 20$  y  $N_1 = 1, 3, 6$  respectivamente.

En la siguiente figura se muestra el valor de la función  $F(n)$  en función de la anchura (en puntos de rejilla) de la buffer zone para distintos valores del parámetro  $N_1$ .



Value of the function  $f(n)$  defined by Eqs. (5) as a function of number of grid points from the boundary  $(n)$ .

Ya que los principales forzamientos de alta resolución se dan próximos a la superficie, se debería esperar mayor desviación entre los campos que produce el modelo y los directores en la baja troposfera, que en niveles altos donde se dan las circulaciones a gran escala.

Teniendo esto en cuenta, otra posible forma de proporcionar las condiciones de contorno es considerar  $N_1 = f(\sigma)$ . De este modo, la influencia de las condiciones frontera es más fuerte en las capas altas, donde el modelo y la circulación directora deben ser parecidas, mientras que disminuye en la media y baja troposfera, donde la representación interna de los forzamientos de alta resolución del modelo debe dominar.



## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en realizar varios experimentos de sensibilidad del modelo RegCM2, descrito anteriormente.

El **objetivo** es valorar los efectos del tamaño del dominio y las condiciones de contorno en la simulación de las variables: presión al nivel del mar, geopotencial de la superficie isobárica de 500hPa y precipitación sobre la Península Ibérica.

Para ello se han realizado siete integraciones del modelo climático regional en distintas zonas que incluyen la Península Ibérica y regiones adyacentes.

La integración se hizo para los meses de **enero y febrero de 1996**. Se eligió este periodo debido al paso de varios sistemas de bajas presiones sobre la península, que dieron lugar a precipitaciones abundantes.

La **resolución** elegida es de 80 km, con la que los principales características de la Meseta Ibérica, Pirineos, Alpes y el Atlas marroquí quedan representados.

Los datos de temperatura del agua del mar (**SST**), se han obtenido de un dataset de temperaturas mensuales medias de 1 grado de resolución facilitado por el "Climate Analysis Center" (**CAC**). Se adaptan a la rejilla deseada mediante una interpolación bilineal de Lagrange. (Figura 1)

La **topografía** utilizada es la del "NCAR Air Force Terrain" de 0.5 grados de resolución interpolada a nuestro grid de 80 km de resolución, como en el caso anterior, mediante una interpolación bilineal de Lagrange. (Figura 1)

El **tipo de suelo** usado por el modelo es el estándar del MM4 (Figura2)

### Otros datos del modelo:

*Proyección:* Conforme tipo Lambert

*Número de niveles en la vertical:* 14

*Presión en el límite superior de la atmosfera:* 80 hPa

*Paso de tiempo :* 300 seg

*Centro de la ventana:* 39N, 6W

Las **condiciones iniciales y de contorno** para el viento, temperatura, proporción de mezcla del vapor de agua y presión en superficie, necesarias para dirigir la integración del modelo regional, se interpolan de los análisis del "European Centre for Medium-Range Weather Forecast" (**ECMWF**). Los datos del ECMWF son los del dataset de NCAR "ECMWF WCRP/TOGA Archive II" que tiene las siguientes características:

*Tipo de análisis :* no inicializado

*Resolución:* 2.5 grados

*Truncación:* T42

*Disponibilidad:* dos diarios, a las 00Z y 12Z

*Niveles verticales:* 15

*Variables:* geopotencial, temperatura, componentes u y v del viento, velocidad vertical, humedad relativa, y humedad específica.

*Campos de superficie:* geopotencial, presión y orografía.

La interpolación vertical del análisis a los puntos de rejilla del modelo es lineal con la presión para el viento y humedad relativa y con el logaritmo de la presión para la temperatura.

Para la **asimilación de las condiciones de contorno**, se utiliza el metodo de relajación exponencial, explicado anteriormente.

En la tabla siguiente se muestran los valores del *coeficiente*  $N_1$ , asi como las *dimensiones del area y anchura de la zona de transición* (en puntos

de rejilla), para cada experimento.

Experimento	Dimensiones	Anchura B.Zone	Coefficiente $N_1$
1	40x51	11	1
2	30x41	6	1
3	50x61	15	1
4	60x71	20	1
5	40x51	11	2
6	50x61	15	2
7	60x71	20	2

Los cuatro primeros experimentos tienen áreas de diferentes tamaños y son concéntricas entre sí. La anchura de la zona de transición se elige de forma que el dominio interior, en el que se realiza el estudio, sea el mismo.

Por otro lado y puesto que el objetivo del proyecto es, analizar el fundamento básico de la técnica de anidamiento (nesting), en la cual la forma en que se asimilan las condiciones de contorno juega un papel fundamental, se varía el coeficiente  $N_1$  que mide el peso que se le da a los condiciones frontera en la buffer zone. Las 4 primeras integraciones se hacen con  $N_1=1$ , lo que supone un débil forzamiento de los campos directores y por igual a todos los niveles.

Los experimentos 5, 6 y 7 consisten en repetir el 1, 3 y 4, es decir las tres áreas mayores, variando tan sólo el coeficiente  $N_1$  que ahora es el doble que en los anteriores, con lo que la influencia de los campos de gran escala es mayor.

### Medidas objetivas del comportamiento del modelo

Para validar el modelo, se utilizan varias medidas objetivas estandar. Según la variable considerada son:

A) SLP y geopotencial de 500 hPa:

El estudio de la presión al nivel del mar y del geopotencial se hace, comparando las salidas del modelo, que denotaremos con el subíndice M, con los análisis del ECMWF, que toma como condiciones de contorno y que denotaremos por el subíndice A. Para ello se calculan los siguientes índices:

Coefficiente de correlación:

$$corr = \frac{\sum_i \sum_j (x_{i,j}^M - \bar{x}^M)(x_{i,j}^A - \bar{x}^A)}{[\sum_i \sum_j (x_{i,j}^M - \bar{x}^M)^2 \sum_i \sum_j (x_{i,j}^A - \bar{x}^A)^2]^{1/2}} \quad (6)$$

Error cuadrático medio (rmse):

$$rmse = \left[ \frac{\sum_i^{N_i} \sum_j^{N_j} (x_{i,j}^M - x_{i,j}^A)^2}{N_i N_j} \right]^{1/2} \quad (7)$$

Error medio (Bias):

$$bias = \frac{\sum_i^{N_i} \sum_j^{N_j} (x_{i,j}^M - x_{i,j}^A)}{N_i N_j} \quad (8)$$

Siendo  $N_i$ ,  $N_j$  las dimensiones del dominio interior ( Area total - buffer zone), en el cual la solución se atribuye enteramente al modelo, es decir no hay influencia directa de los campos directores.

El coeficiente de correlación da idea de la mayor o menor similitud de la situación sinóptica, es decir la posición relativa de anticiclones y borras-cas.

El error medio mide la desviación en intensidad de la variable es decir si el modelo obtiene, en promedio, presiones más altas o más bajas que el análisis.

El error cuadrático medio mide la desviación total, es decir, es la combinación de ambos.

Dado que nuestro interés se centra en la climatología, más que en fenómenos meteorológicos aislados, el enfoque utilizado es promediar a lo largo del

periodo total de integración, aunque con el fin de eliminar el "tun up" se excluyen los 10 primeros días.

## B) Precipitación

Para la verificación de la precipitación se utiliza un fichero de datos global de estaciones meteorológicas del "Climate Analysis Center" (CAC) con datos de precipitación diaria. Primero se interpola a una rejilla regular latitud/longitud que englobe al área escogida y de ésta se interpola de nuevo al grid de proyección Lambert utilizada en el modelo. En este estudio se han utilizado cerca de 900 estaciones sinópticas de Europa y África.

Para el análisis de la precipitación, se compara la precipitación acumulada en los 60 días obtenida por el modelo, con la total del dataset de precipitación diaria descrito anteriormente, que se obtiene sumando para cada punto de rejilla la precipitación del mes de enero y la de febrero. Se divide la península en dos subregiones: la mitad occidental (Área 1) y la mitad oriental (Área 2) y se hace la media espacial de cada una de estas dos áreas además de la total.

Se calcula el error cometido en la estimación de la precipitación haciendo la diferencia entre la precipitación simulada por el modelo y la real en tanto por ciento.

## Desarrollo de los experimentos e interpretación de los resultados

### A) EXPERIMENTOS 1, 2, 3 y 4

Como primer experimento se elige un área arbitraria de 40x51 puntos de rejilla, coeficiente  $N_1=1$  en todos los niveles, y una anchura de la zona de transición de 11 puntos de rejilla, y se integra unos pocos días a fin de adaptar el modelo a la región elegida.

Una vez hecho el ajuste, se integra 60 días que corresponden a, enero (31 días) y febrero de 1996 (29 días, bisiesto).

Para el segundo experimento se elige un área menor, de 30x41 puntos de rejilla, concéntrica con la anterior y se integra en el mismo período. A continuación se realizan los otros dos experimentos (tercero y cuarto) con áreas mayores de 50x61 y 60x71 puntos de rejilla respectivamente, variando también la anchura de la buffer zone de forma que el dominio interior se conserve. Las otras variables se mantienen constantes, es decir el centro del área, la resolución y el coeficiente  $N_1=1$ . (Figura 3)

Con las salidas de los cuatro experimentos, que se obtienen cada 6 horas: a las 00Z, 06Z, 12Z y 18Z, se hace el postproceso gráfico de la presión a nivel del mar (SLP), geopotencial de la superficie isobárica de 500 hPa y precipitación acumulada. Éste consiste en plotear las variables indicadas anteriormente para las diferentes simulaciones. De esta forma podemos seguir la evolución temporal de los distintos campos a lo largo del período de integración.

Se plotean también los campos del ECMWF a fin de compararlos con los anteriores.

Puesto que sólo disponemos de dos análisis diarios del ECMWF, los ploteos del modelo y del análisis, así como los cálculos estadísticos se hacen a las 00Z y 12Z para cada día.

A continuación y dentro del postproceso numérico se calculan: el coeficiente de correlación, el error cuadrático medio y el error medio entre los resultados del modelo y los análisis, también a las 00Z y 12Z y se hace la representación gráfica de la evolución temporal de dichos parámetros (Figuras 4 a 15).

Para obtener una idea general de la desviación de los campos con respecto al análisis, se hace el promedio temporal de las tres medidas estadísticas

(corr, rms y bias) para los últimos 50 días y se comparan para los distintos experimentos (Anexo 1).

Se calcula además el error cometido al estimar la precipitación en las tres subregiones (Anexo 1).

### Interpretación de los resultados:

#### 1) Anexo 1

En la tabla primera del Anexo 1, en la que se representan los valores medios de los tres índices estadísticos para la SLP se observa que a medida que aumentamos el área, el coeficiente de correlación es menor, y lo mismo ocurre con el error cuadrático medio.

En la tabla segunda de este mismo Anexo, (geopotencial en 500 hPa) se observa la misma tendencia. Si bien comparada con la anterior la correlación es mayor.

El comportamiento es el esperado si se tiene en cuenta que, si el área es grande, la influencia en el dominio interior, de los campos que gobiernan la circulación a gran escala y que el modelo asimila a través de la "buffer zone", es menor para un mismo coeficiente  $N_1$ .

Así, para los puntos situados en el borde del dominio interior, el tanto por ciento de solución atribuible a las condiciones frontera es de un 13.5 %, 0.1 %,  $6 \times 10^{-4}$  % y  $4 \times 10^{-6}$  %, para las áreas 2, 1, 3 y 4 respectivamente, siendo el coeficiente  $N_1=1$ .

Por otro lado, en niveles altos donde la influencia de los forzamientos de mesoescala es más pequeña, la desviación del modelo con respecto al análisis es menor.

Estas discrepancias, en realidad, lo que están midiendo es la capacidad del modelo para desarrollar circulaciones mesoescalares inducidas por

forzamientos de tipo local.

Por último, de la tabla 3 del Anexo 1, se ve que a medida que aumentamos el área, la precipitación obtenida por el modelo va siendo más y más grande; el salto mayor se produce al pasar del Ex3 al Ex4 , de hecho el error es por defecto al principio y por exceso al final.

## 2) Figuras 4 a 15

Examinando con detalle los ploteos diarios de las variables SLP y geopotencial en 500hPa, y comparando día a día el del ECMWF (análisis) con el simulado por el modelo al mismo tiempo que la información proporcionada por las figuras 4 a 15 se deduce lo siguiente:

La configuración general de los centros de alta y baja presión (anticiclones y borrascas) es bastante similar en el análisis que en el modelo, y es el efecto combinado de la distinta posición de las borrascas y la mayor o menor profundización de éstas lo que provoca que el error sea tan alto a veces. De hecho a partir del día 40 y hasta el 55 aproximadamente, que es cuando dominan las situaciones anticiclónicas, la correlación es mayor.

En la figura 4 se muestra el coeficiente de correlación entre las salidas del modelo y los análisis (línea continua), y la media espacial de la presión (línea discontinua). Esta última representa las características sinópticas medias en la zona.

Entre los días 20 y 40 se observan varios picos de correlación baja, que aunque son cada vez más pronunciados al pasar del EX2 al EX4, se obtienen prácticamente en los mismos días en las distintas simulaciones. Estos días son aproximadamente: el 25, 30, 33 y 40. Además, aparece un pico extra en el experimento 4 alrededor del día 15.

Analizando simultáneamente las Figuras 4 y 6 y fijándonos en los días señalados anteriormente, vemos que en el día 25 el error medio es negativo



en todos los experimentos, en el 30 es positivo en todos, en el 33 negativo en todos, en el 40 positivo en todas menos en el Exp. 4, y por último en el 15 es muy negativo. También se aprecia que en el periodo anticiclónico es siempre positivo.

Estudiando cada día por separado vemos que:

El día 15, de la borrasca al NW del dominio, que hasta entonces era muy definida y extensa, se descuelga un núcleo y se dirige hacia latitudes más bajas al mismo tiempo que se rellena (sube la presión).

El modelo reproduce la situación, aunque desplaza el centro de la baja, que aparece situado sobre el Golfo de Cádiz, mientras que en el análisis se encontraba sobre Canarias. Rellena la baja aunque en menor cuantía que en el análisis (error medio negativo, Figura 6).

En 500hPa la situación es similar (Figuras 10 y 12).

A partir del día 20 y hasta el 40, en que la Península queda bajo el dominio del Anticiclón de las Azores, la situación es de borrasca extensa fría (se corresponde con baja en altura), desligada de la circulación general, variando de intensidad y posición, llegando incluso en ocasiones a desglobarse en dos centros, hasta el día 33 en que la baja se rellena y se desplaza hacia el este de forma que ya no afecta al dominio, el cual queda en situación poco definida entre el anticiclón al W y las bajas presiones al NE.

En altura, baja extensa rellenándose, aunque en ocasiones se profundiza, como ocurre el día 25, para terminar desapareciendo el día 30. A partir de esa fecha, la situación es poco definida, entre vaguadas y dorsales pequeñas, hasta que al final entra una cuña anticiclónica.

El día 25 el modelo mantiene la borrasca dentro del dominio (error medio negativo) cuando en el análisis ésta se retira permitiendo la entrada de

una cuña anticiclónica. En altura se presenta la misma situación.

En el día 30 por el contrario, el modelo introduce una cuña anticiclónica (error medio positivo) sobre el dominio que no se observa en el análisis, éste, sin embargo, es de situación más bien neutra con presiones del orden de 1012-1013 hPa, lo mismo ocurre en altura.

En el día 33 tenemos de nuevo situación poco definida, después de que la baja (poco profunda) que afectaba a la península, se rellenara hasta desaparecer. El modelo hace lo contrario, profundiza la baja colocándola sobre el Cantábrico. En este caso no existe correspondencia con niveles altos.

En el día 40 la península queda afectada al Norte por una baja sobre Inglaterra y al Oeste por el Anticiclón de las Azores. El modelo simula bien la forma general de la distribución, pero en los Exp 1, 2, y 3 el Anticiclón penetra un poco más en la península (error medio positivo) mientras que en el Exp. 4, por el contrario, la borrasca sobre Inglaterra penetra un poco más sobre el dominio (error medio negativo).

Del estudio expuesto anteriormente se deduce que, las situaciones que mejor simula éste modelo, son aquellas bien definidas y estables, es decir, borrascas extensas y profundas apoyadas por la misma situación en altura (bajas frías) o bien anticiclones.

Las menos simulables serían aquellas que intrínsecamente presentan un comportamiento caótico, como son las depresiones aisladas en niveles altos (DANAS) al descolgarse del núcleo principal y separarse de la circulación general.

Por otro lado, las situaciones poco definidas, con poco gradiente, pueden dar coeficientes de correlación muy bajos sin que esto suponga una gran desviación en el tipo de situación sinóptica.

De cualquier forma, para llegar a resultados concluyentes sobre si el modelo muestra o no alguna tendencia al representar las situaciones sinópticas sería necesario contar con integraciones más largas.

## B) EXPERIMENTOS 5, 6 y 7

A continuación se hacen las tres últimas integraciones.

Éstas consisten en aumentar el coeficiente  $N_1$ , que ahora toma el valor 2, es decir, el doble que en los experimentos anteriores. Ésto significa una mayor influencia de los campos directores en la "buffer zone".

Así, por ejemplo, el peso que las condiciones laterales tienen en la solución del modelo, para los mismos puntos que se dieron anteriormente, son ahora de: 40 %, 3 %, 0.25 % y 0.02 % para las áreas 2, 1, 3 y 4 respectivamente. Al compararlos con los dados para  $N_1 = 1$ , se observan diferencias apreciables, especialmente en las dos áreas más grandes.

Se repiten las integraciones para los tres dominios mayores (Exp. 1, 3 y 4), variando tan sólo el coeficiente  $N_1$ . Salvo ésto, el quinto experimento es exactamente igual al primero, el sexto al tercero y el séptimo al cuarto.

Se analizan los resultados, y se observa que, como era de esperar, tanto en los gráficos de variación temporal del coeficiente de correlación como en el promedio ( Anexo 1 y Figuras 6 y 11), el quinto experimento se acerca mucho al segundo, el sexto al primero y el séptimo al tercero.

Lo más sorprendente es que el pico de correlación baja del día 15 en el Exp. 4 (Figura 4), desaparece por completo en el Exp. 7 (Figura 5). Esto es debido a que en este último, la posición de la baja es más próxima a la del análisis; por otra parte, la presión en el centro es mayor, es decir el error medio es menos negativo que en el Exp.4 (Figuras 6 y 7). La causa podría ser la mayor influencia de la zona de transición sobre la borrasca, al estar centrada muy cerca del lateral.

En 500hPa se observa la misma tendencia (Figuras 10 y 11).

Con estos resultados se puede concluir que se obtiene el mismo resultado disminuyendo el área que aumentando el coeficiente  $N_1$ , lo que demostraría la validez de la técnica nesting y del papel que juega la "buffer zone", en el sentido de que es equivalente acercar la zona de estudio a la región en la que gobiernan las condiciones de contorno (buffer zone), que darle a ésta última un peso mayor (aumentando el coeficiente  $N_1$ ).

Sin embargo, mientras que el comportamiento del modelo al simular la SLP y el geopotencial es asintótico con las dimensiones del área de integración, no ocurre lo mismo con la simulación de la precipitación, que aumenta continuamente con el tamaño del dominio.

De esta forma en el experimento séptimo la precipitación no se acerca, lo que debería, a la obtenida en el tercero, según el razonamiento anterior sobre el papel de la "buffer zone", sino que es mucho mayor. De hecho está más próxima al Exp. 4 que al Exp.3

Una posible interpretación de este resultado es, que el exceso de precipitación que se genera, está producido por una mayor evaporación en los océanos. En este caso concreto el aumento del área de integración conlleva un aumento de la superficie oceánica, ya que la proporción de Océano Atlántico que queda englobada dentro de la región es cada vez mayor.

Para comprobar ésto se hace un estudio de los perfiles verticales medios de temperatura y humedad (Figuras 16 y 17). Si bien todos son muy similares, las pequeñas diferencias entre ellos (obsérvese que hay mas humedad en los experimentos 4 y 7, Figura 17), son las responsables del aumento de precipitación. Una pequeña variación de la cantidad total de vapor en la atmósfera puede suponer una gran diferencia en la cantidad de agua precipitable.

Para corroborar esta teoría, se calculan los flujos de humedad a través de la frontera occidental del dominio interior (Figuras 18 y 19), ya que es del Atlántico de donde presumiblemente proviene el vapor. El resultado es un considerable aumento del flujo en niveles bajos, en los experimentos 4 y 7 que son los correspondientes al área mayor.

Si bien este resultado es coherente con un aumento de la precipitación, ya que un mayor aporte de humedad en niveles bajos conlleva una mayor condensación y por lo tanto mayor inestabilidad en la columna, para obtener resultados más concluyentes se debería comparar con los flujos de humedad dados por el análisis. Sería también interesante extender el estudio a los meses de verano cuando los mecanismos que producen precipitación son principalmente de tipo convectivo.

## CONCLUSIONES

Del estudio anterior se puede concluir que el comportamiento de la SLP y del geopotencial son coherentes con el objetivo de la técnica de anidamiento (nesting).

Al integrar en áreas cada vez más grandes, la desviación de estos campos con respecto al análisis que toma como condiciones de contorno en los laterales, va siendo mayor. Por otro lado éstas desviaciones son menores en altura que en superficie.

Es decir el modelo al aumentar el área tiene más campo para desarrollar su propia circulación interior, producida por forzamientos de mesoescala, que se dan sobre todo en niveles bajos.

Cuando se repiten los experimentos integrando el modelo en las mismas áreas y dándoles un mayor peso a las condiciones de contorno en los laterales, las cuales tienen por tanto mayor influencia, las desviaciones entre las salidas del modelo y el análisis son menores.

Sin embargo el comportamiento de la precipitación es distinto. Aumenta continuamente con el tamaño del área y resulta ser menos sensible a las restricciones impuestas en los laterales por las circulaciones de gran escala.

Si bien una de las causas probables del aumento de precipitación es el exceso de evaporación que el modelo produce sobre el océano, se recomienda extender el estudio a los meses de verano, ya que en esa época del año y en nuestra región la precipitación es principalmente de tipo convectivo, mientras que en invierno lo es de tipo frontal.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que han hecho posible la realización de este proyecto.

En primer lugar mi sincero reconocimiento al que ha sido mi director y tutor en el proyecto, el Dr. Filippo Giorgi, cuya enseñanza y paciencia supusieron una valiosísima ayuda. Al Dr. Gary Bates y a Cristine Shields también del Climate Change Research Section, quienes facilitaron la realización de la tarea con su apoyo no sólo técnico sino moral.

Al National Center for Atmospheric Research, por su desinteresada aportación técnica y apoyo informático.

Por otro lado la realización de este proyecto nunca hubiera sido posible sin la concesión de una beca "Fulbright" por parte del extinto Ministerio de Obras Publicas, Transportes y Medio Ambiente para una estancia de 8 meses de duración en NCAR, Boulder, Colorado. Agradezco al tribunal seleccionador la confianza depositadas en mí y en el proyecto presentado.

Asimismo quiero agradecer también al Instituto Nacional de Meteorología, y en concreto al Servicio de Análisis e Investigación del Clima (SAIC) en el que presto mis servicios por el apoyo recibido. A mis compañeros del SAIC por la revisión y discusión de este trabajo.

## References

- [1] Anthes, R.A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 270-286
- [2] Anthes, R. A., and T.T. Warner, 1978: Development of hydrodynamical models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1045-1078.
- [3] Anthes R. A., Hsie E. Y. and Kuo Y., 1987: Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4). NCAR Tech. Note NCAR/TN-282+STR, 65pp.
- [4] Briegleb, B.P., 1992: delta-Eddington approximation for solar radiation in the NCAR Community Climate Model. *J. Geophys. Res.*, **97**, 7603-7612.
- [5] Davies, H.C., and R. E. Turner, 1977: Updating prediction models by dynamical relaxation: An examination of the technique. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **103**, 225-245.
- [6] Dickinson, R. E., A. Henderson-Sellers, and P. J. Kennedy, 1992: Biosphere-Atmosphere Transfer scheme (BATS) version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR Tech. Note NCAR/TN.387+STR, 72pp.
- [7] Giorgi, F., and M. R. Marinucci, 1991: Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensitive of wintertime and summertime simulations to selected physics parameterizations and lower boundary conditions. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, **117**, 1171-1206
- [8] Giorgi, F. and L. O. Mearns, 1991: Approaches to the simulation of regional climate change: a review. *Rev. Geophys.*, **29**, 2 191-216
- [9] Giorgi F., Marinucci R., Bates G., 1993: Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2794-2813



- [10] Giorgi F., Marinucci R., Bates G., 1993: Development of a second-generation regional climate Model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2814-2832
- [11] Giorgi F., C. S. Brodeur, and G. T. Bates, 1993c: Regional climate change scenario over the United States produced with a nesting regional climate models: spatial and seasonal characteristics. *J Climate*, **6**, in press.
- [12] Holtstag, A. A. M., and E. I. F. de Bruijn, and H. L. Pan, 1990: A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1561-1575.
- [13] Trenberth, K. E. 1992: Climate System Modeling. University Press, Cambridge
- [14] Troen, I., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmosphere boundary layer: sensitivity to surface evaporation. *Bound-Layer Meteor.*, **37**, 129-148

## ANEXO 1

### Presión al nivel del mar

Indice	Ex2	Ex1	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
Corr.Coef	0.953	0.897	0.872	0.807	0.926	0.896	0.868
Bias (mb)	0.501	0.599	0.578	-1.376	0.650	0.714	-0.369
Rmse (mb)	1.993	3.030	3.715	5.272	2.533	3.234	4.100

### Geopotencial de 500 hPa

Indice	Ex2	Ex1	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
Corr.Coef	0.986	0.970	0.958	0.886	0.978	0.970	0.944
Bias (m)	-4.427	-2.825	-4.907	-21.128	-3.738	-4.352	-12.125
Rmse (m)	14.733	21.949	28.394	53.033	18.506	23.749	36.351

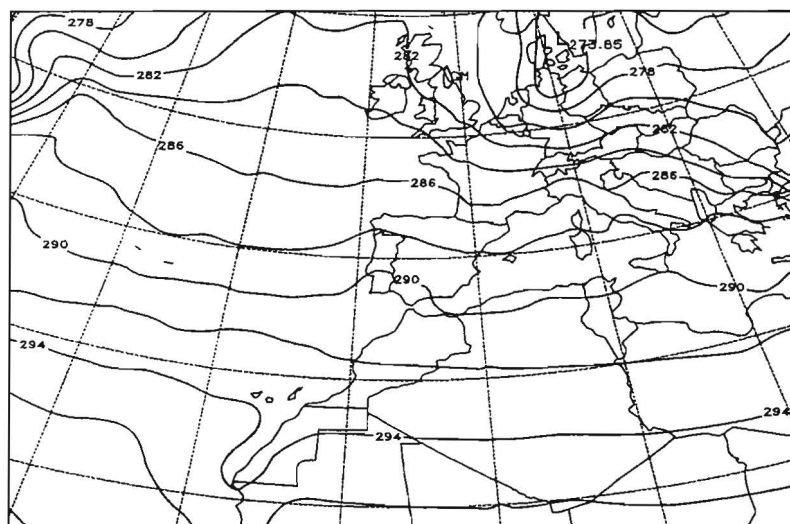
### Error en la precipitación ( Enero-Febrero 1996 )

Area	Ex2	Ex1	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
Area 1 <sup>1</sup>	-11.06	-5.20	-0.37	10.65	-6.90	-1.75	5.36
Area 2 <sup>2</sup>	-11.06	-4.14	4.08	20.20	-7.10	0.94	12.86
Total(1+2)	-11.06	-4.70	1.86	15.40	-7.00	-0.40	9.12

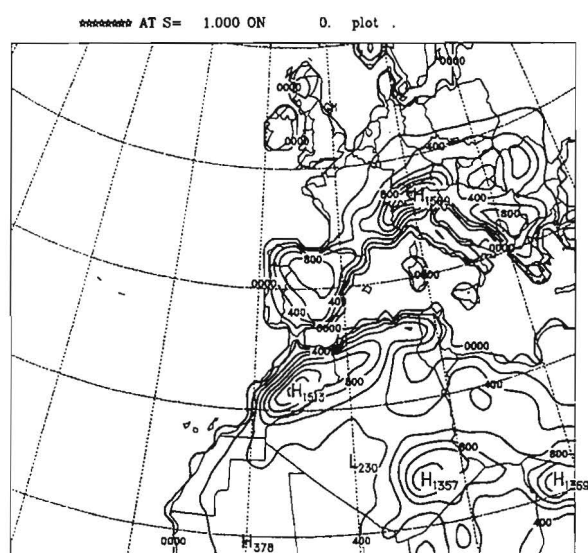
---

<sup>1</sup>36°N - 44°N y 5°W - 9°W

<sup>2</sup>36°N - 44°N y 3°W - 5°W



CONTOUR FROM 270 TO 348 BY 2 (x1)



CONTOUR FROM 0000 TO 7801 BY 200 (x1)

Figure 1: Arriba: SST Enero 1996. Abajo: Topografía

## Tipos de suelo y sus características

Description of land-use categories and physical parameters for summer  
(15 April-15 October) and winter (15 October-15 April).

Landuse Integer Identification	Landuse Description	Albedo (%)		Moisture avail. (%)		Emissivity (% at 9 $\mu$ m)		Roughness Length (cm)		Thermal inertia (cal cm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> s <sup>-1/2</sup> )	
		Sum	Win	Sum	Win	Sum	Win	Sum	Win	Sum	Win
1	Urban land	18	18	5	10	88	88	50	50	0.03	0.03
2	Agriculture	17	23	30	60	92	92	15	5	0.04	0.04
3	Range-grassland	19	23	15	30	92	92	12	10	0.03	0.04
4	Deciduous forest	16	17	30	60	93	93	50	50	0.04	0.05
5	Coniferous forest	12	12	30	60	95	95	50	50	0.04	0.05
6	Mixed forest and wet land	14	14	35	70	95	95	40	40	0.05	0.06
7	Water	8	8	100	100	98	98	.0001	.0001	0.06	0.06
8	Marsh or wet land	14	14	50	75	95	95	20	20	0.06	0.06
9	Desert	25	25	2	5	85	85	10	10	0.02	0.02
10	Tundra	15	70	50	90	92	92	10	10	0.05	0.05
11	Permanent ice	55	70	95	95	95	95	5	5	0.05	0.05
12	Tropical or sub- tropical forest	12	12	50	50	95	95	50	50	0.05	0.05
13	Savannah	20	20	15	15	92	92	15	15	0.03	0.03

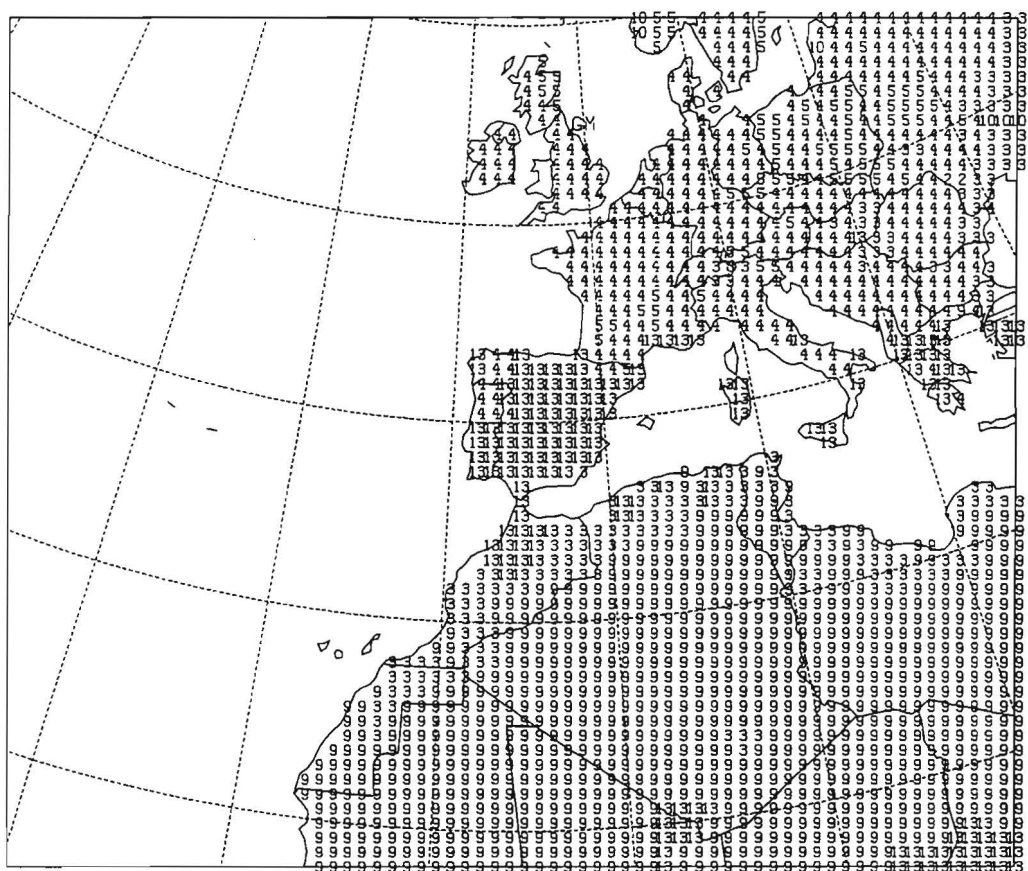
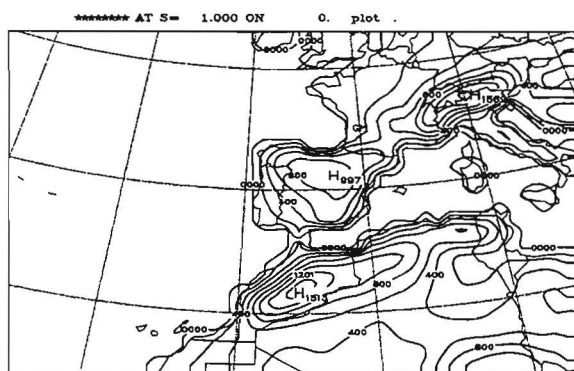
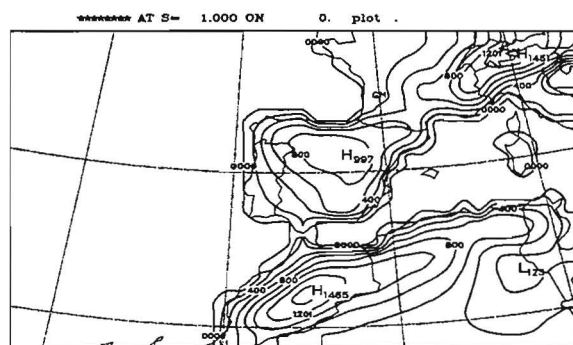


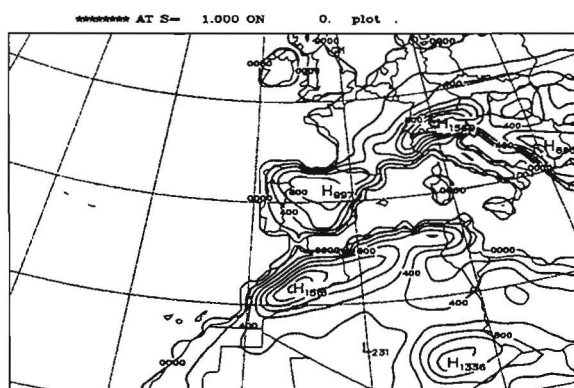
Figure 2: Tipo de suelo



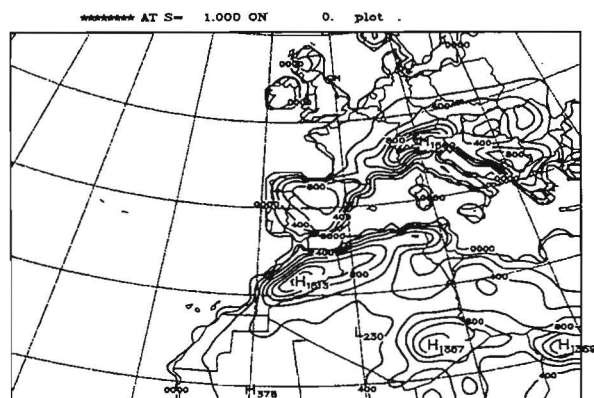
CONTOUR FROM 0000 TO 7801 BY 200 (x1)



CONTOUR FROM 0000 TO 7801 BY 200 (x1)



CONTOUR FROM 0000 TO 7801 BY 200 (x1)



CONTOUR FROM 0000 TO 7801 BY 200 (x1)

Figure 3: Arriba: Areas 1 y 2 Abajo: Areas 3 y 4

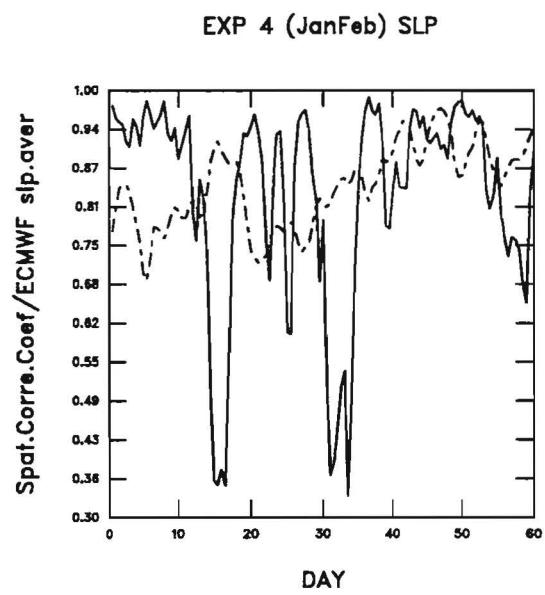
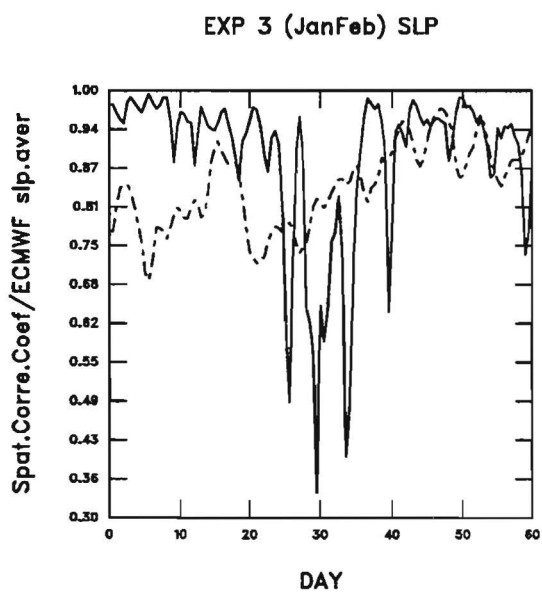
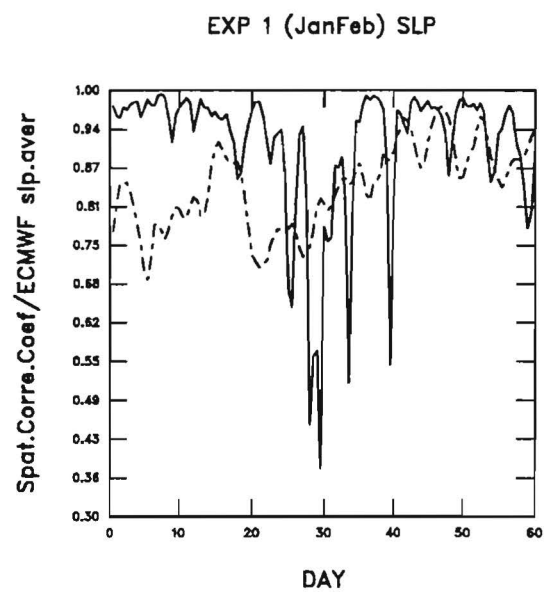
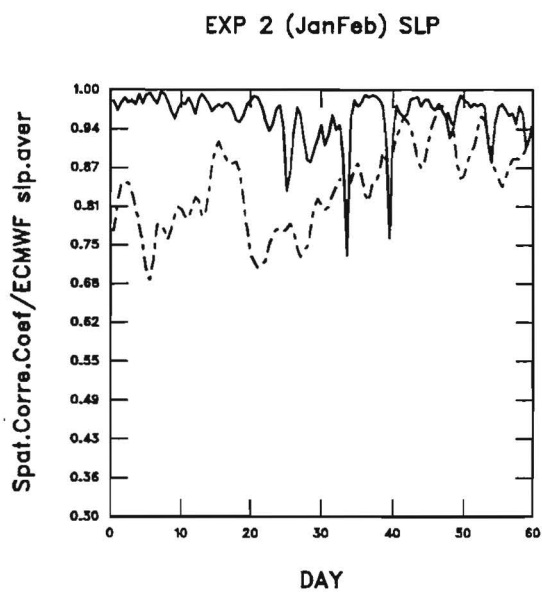
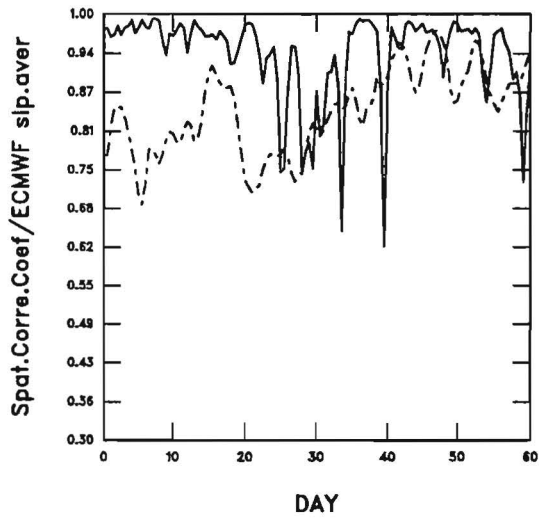
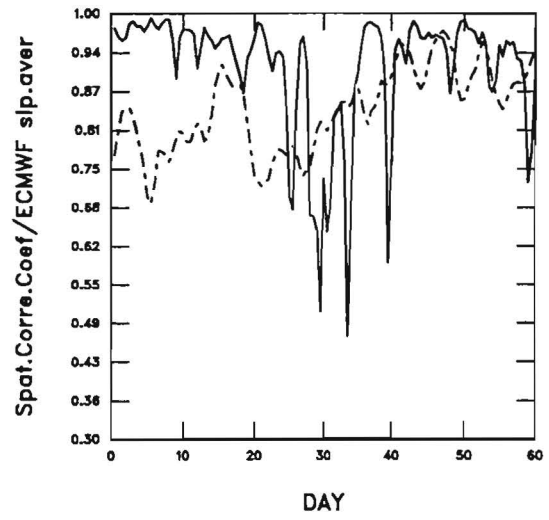


Figure 4: Solid line: Coeficiente de correlación espacial. Dashed line: SLP media

EXP 5 (JanFeb) SLP



EXP 6 (JanFeb) SLP



EXP 7 (JanFeb) SLP

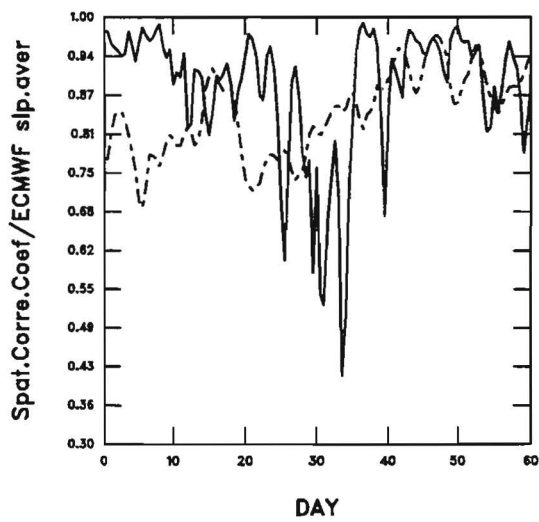


Figure 5: Solid line: Coeficiente de correlación espacial. Dashed line: SLP media



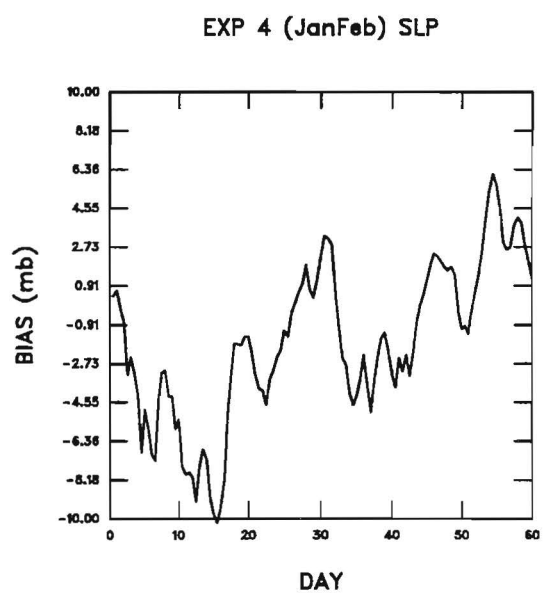
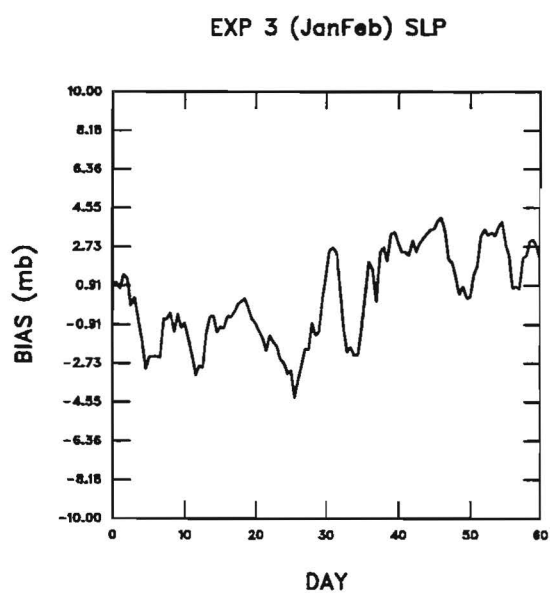
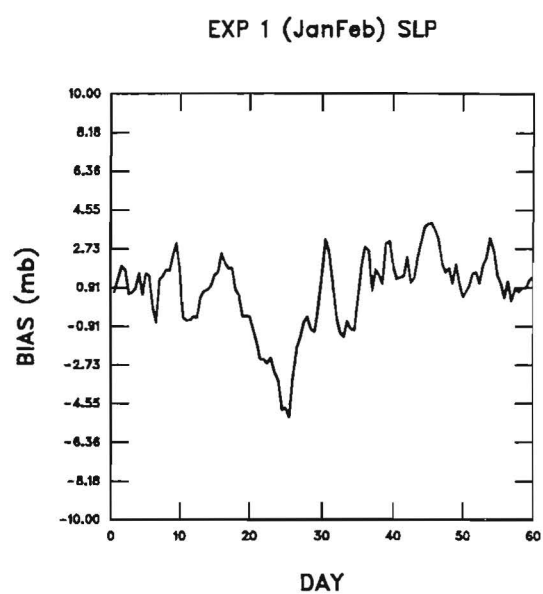
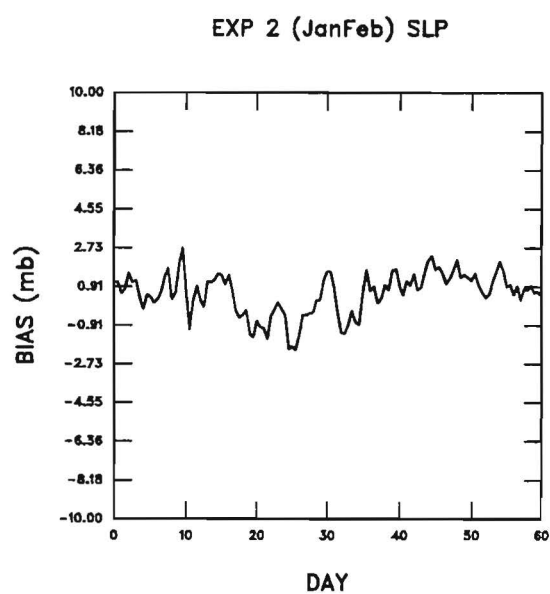
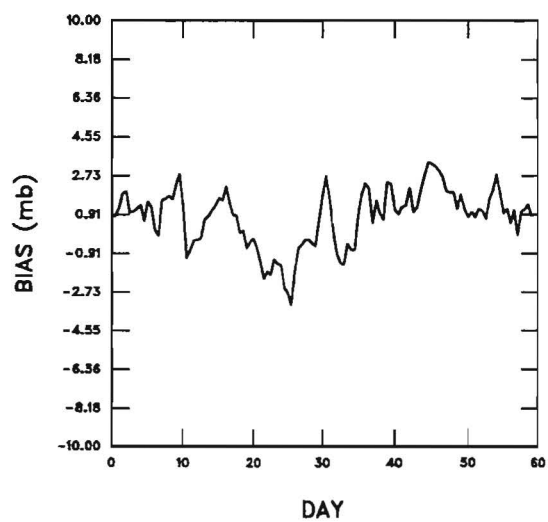
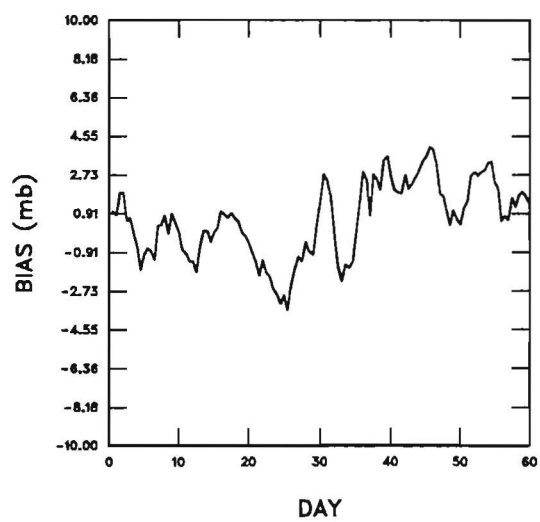


Figure 6: Sesgo de la presión a nivel del mar

EXP 5 (JanFeb) SLP



EXP 6 (JanFeb) SLP



EXP 7 (JanFeb) SLP

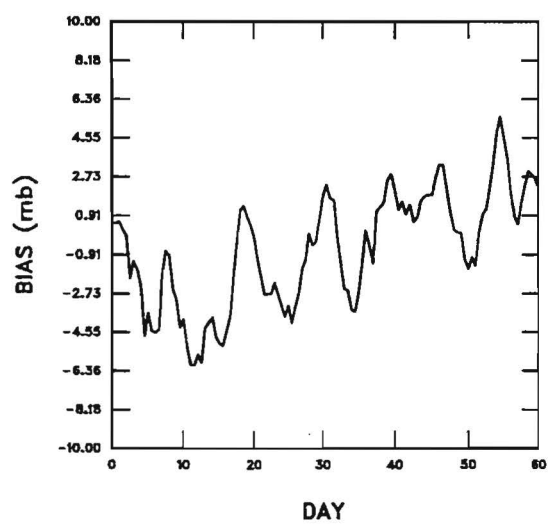


Figure 7: Sesgo de la presión a nivel del mar

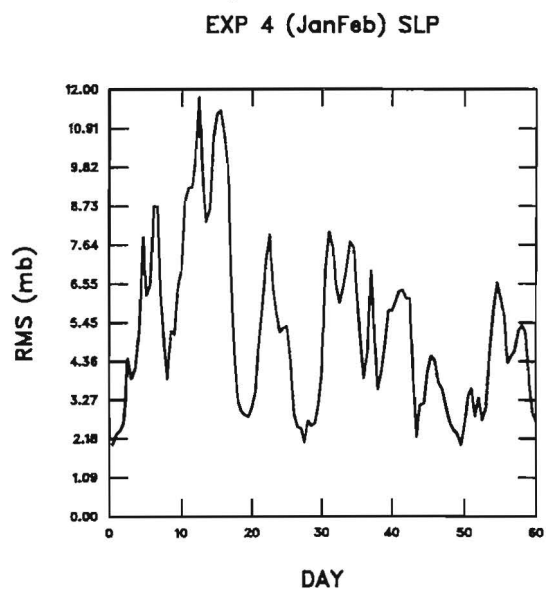
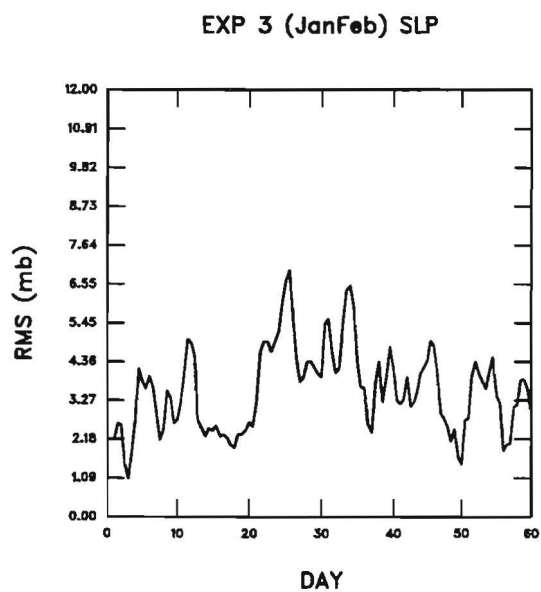
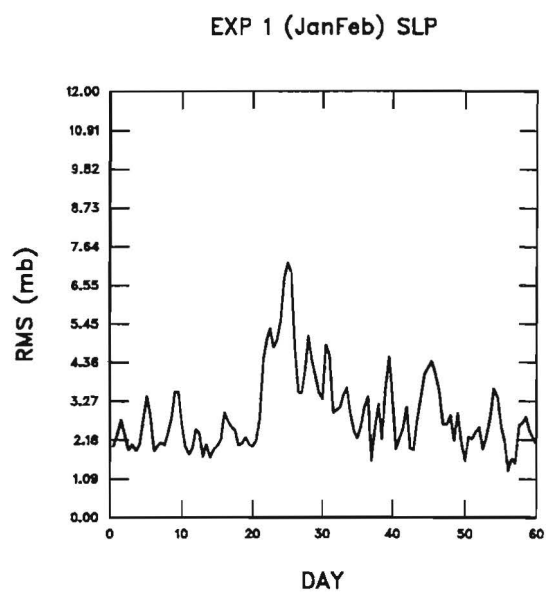
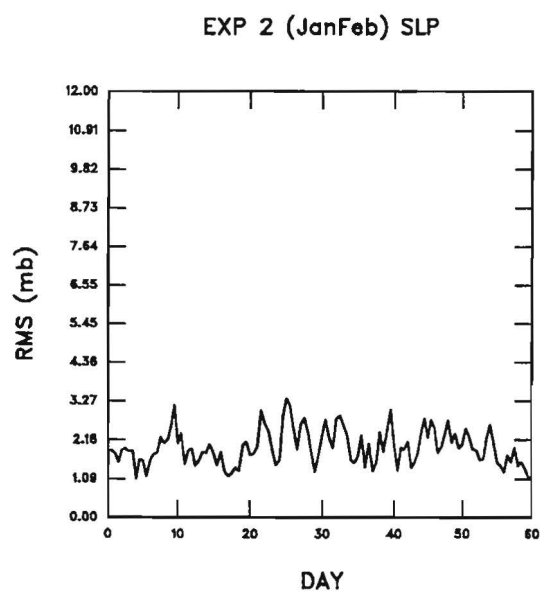
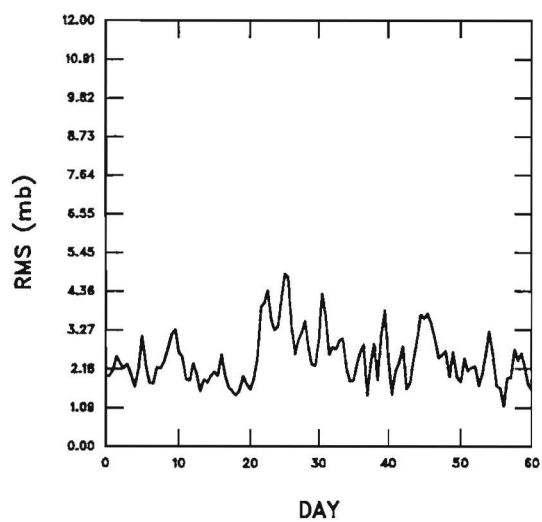
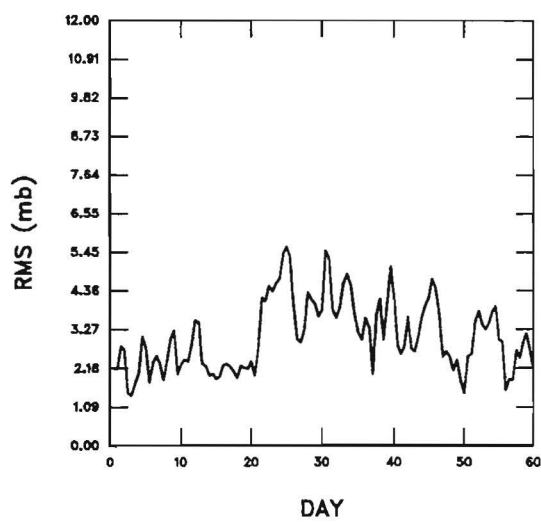


Figure 8: Error cuadrático medio de la presión en superficie

EXP 5 (JanFeb) SLP



EXP 6 (JanFeb) SLP



EXP 7 (JanFeb) SLP

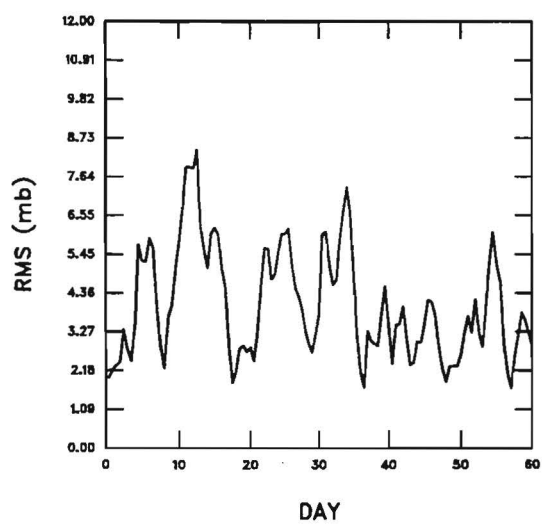


Figure 9: Error cuadrático medio de la presión en superficie

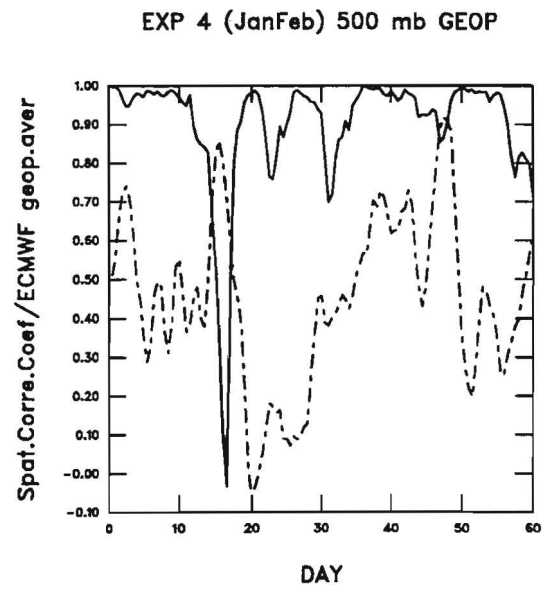
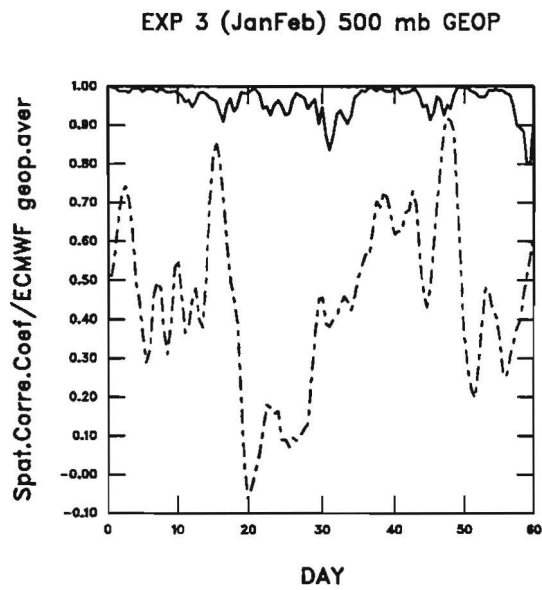
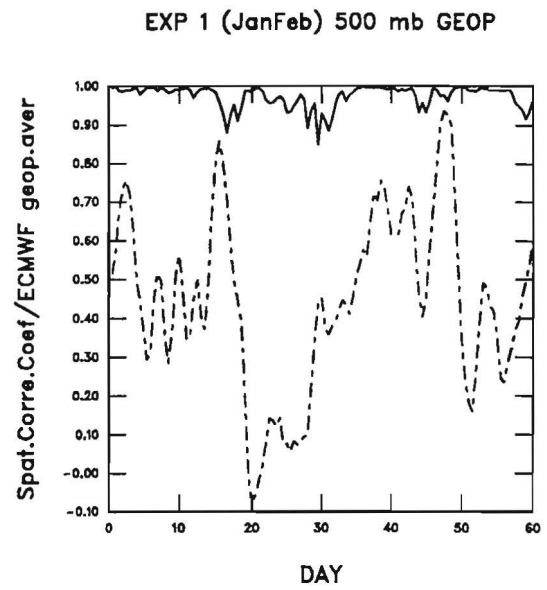
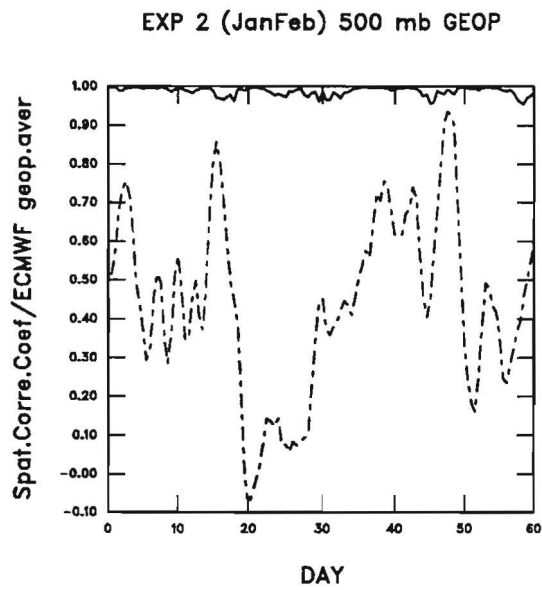


Figure 10: Solid line: Coeficiente de correlación espacial. Dashed line: Geopotencial medio 500hPa

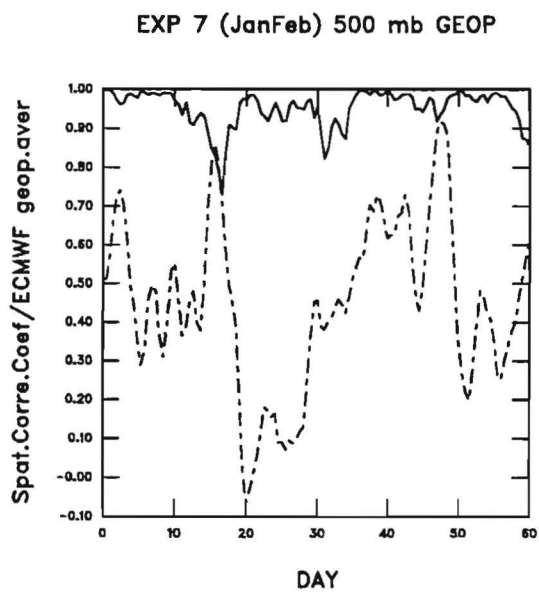
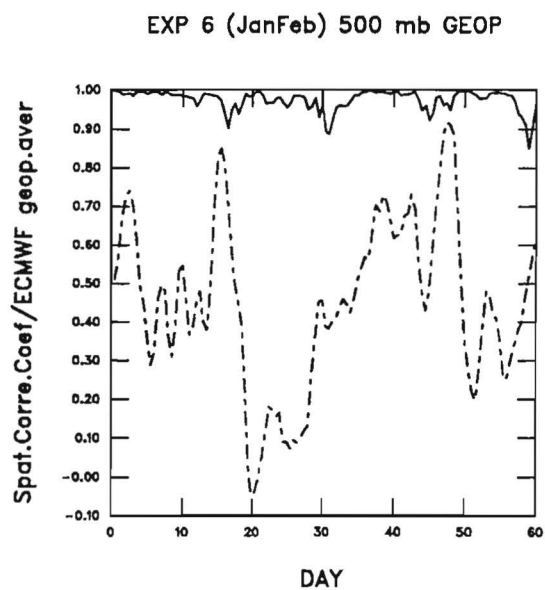
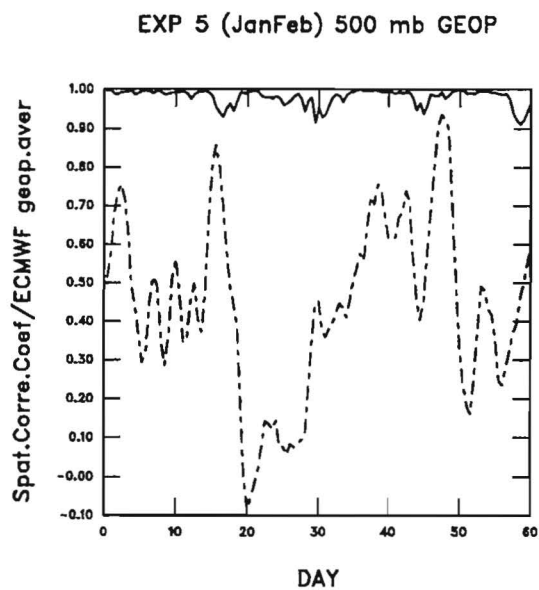
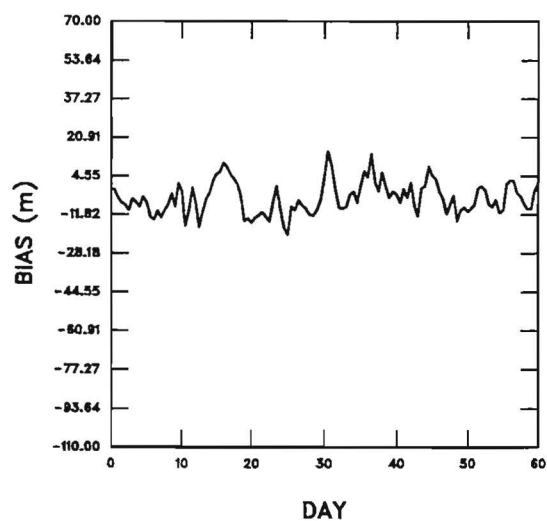
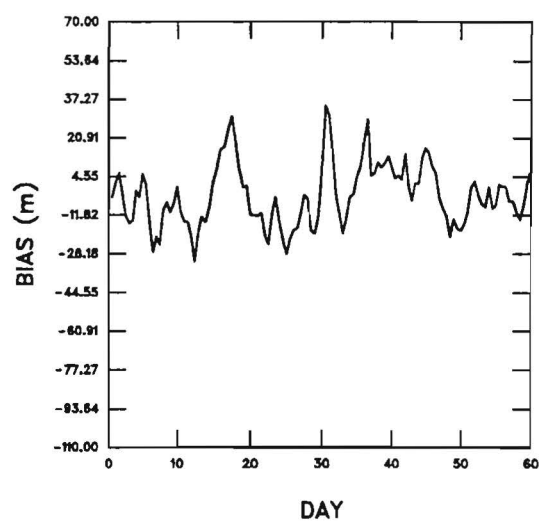


Figure 11: Solid line: Coeficiente de correlación espacial. Dashed line: Geopotencial medio 500hPa

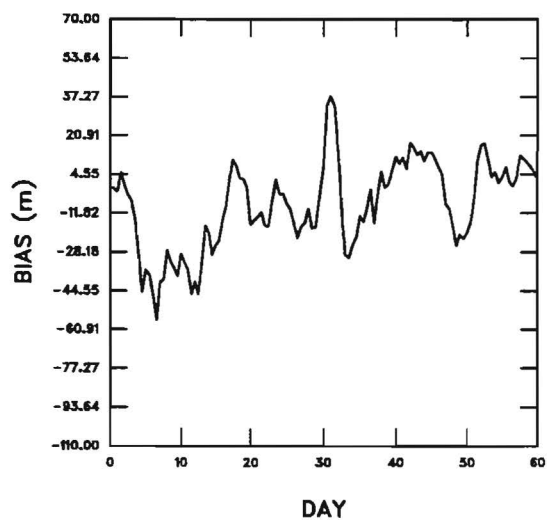
EXP 2 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 1 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 3 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 4 (JanFeb) 500 mb GEOP

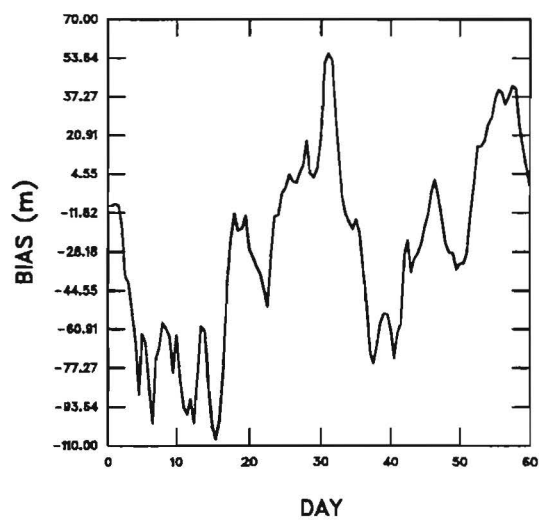
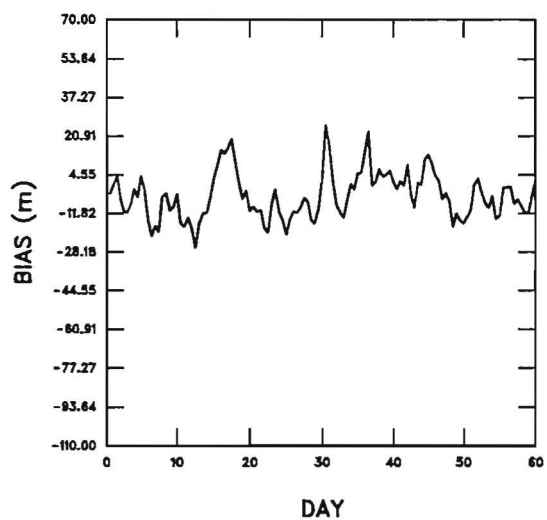
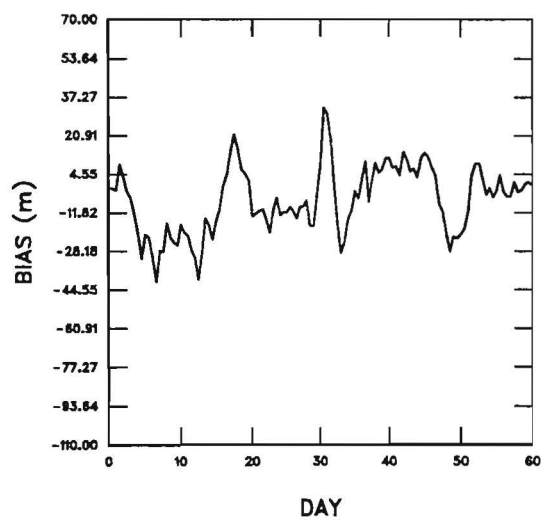


Figure 12: Sesgo del geopotencial 500hPa

EXP 5 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 6 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 7 (JanFeb) 500 mb GEOP

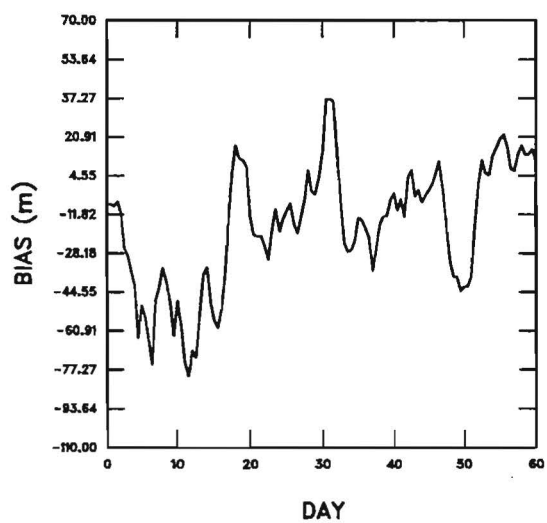
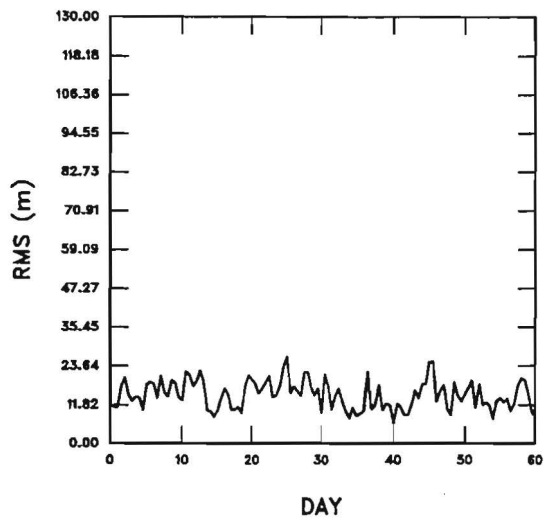


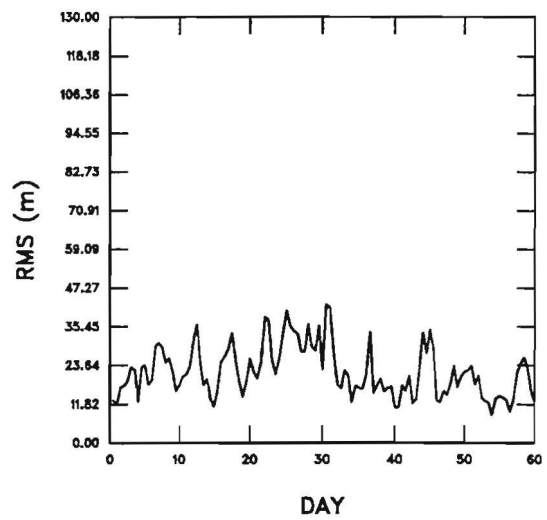
Figure 13: Sesgo del geopotencial 500hPa



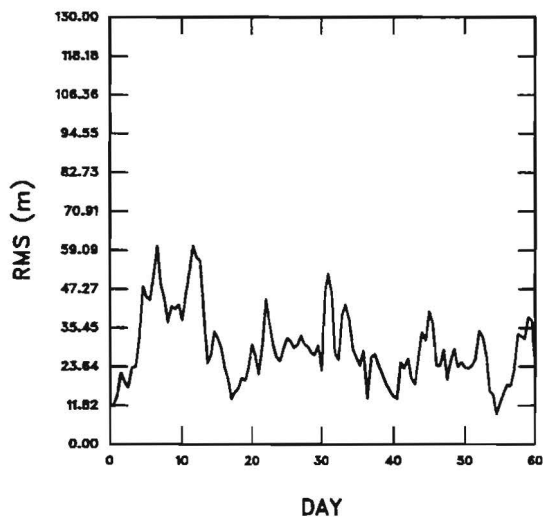
EXP 2 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 1 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 3 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 4 (JanFeb) 500 mb GEOP

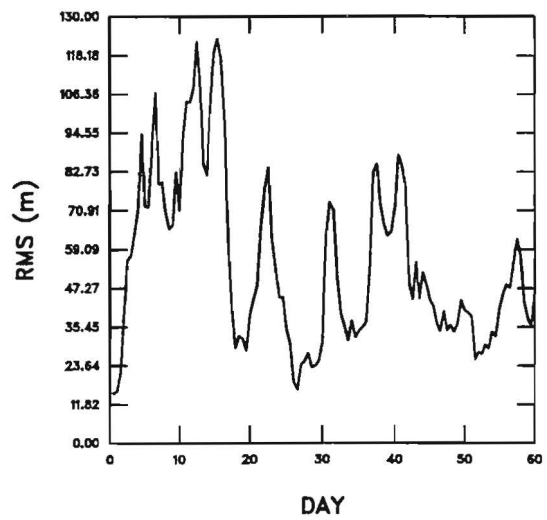
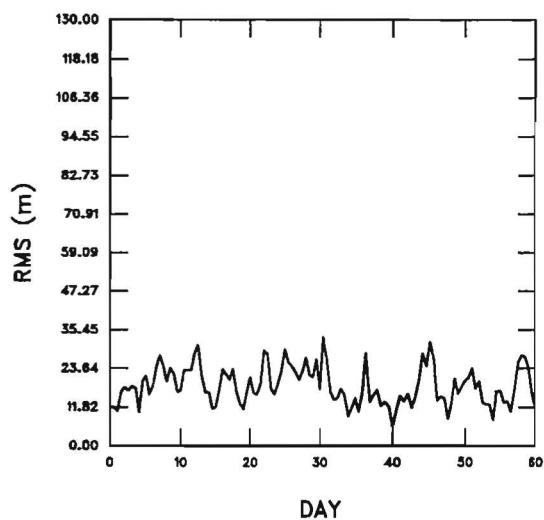
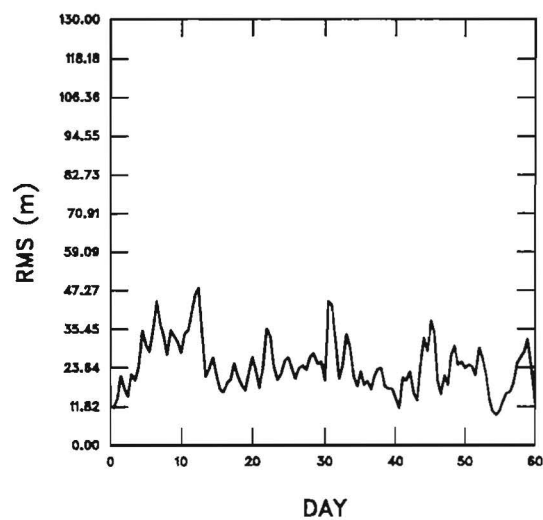


Figure 14: Error cuadrático medio 500hPa

EXP 5 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 6 (JanFeb) 500 mb GEOP



EXP 7 (JanFeb) 500 mb GEOP

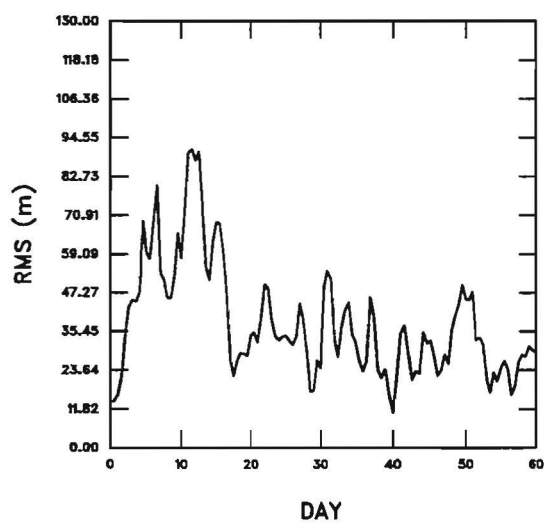


Figure 15: Error cuadrático medio 500hPa

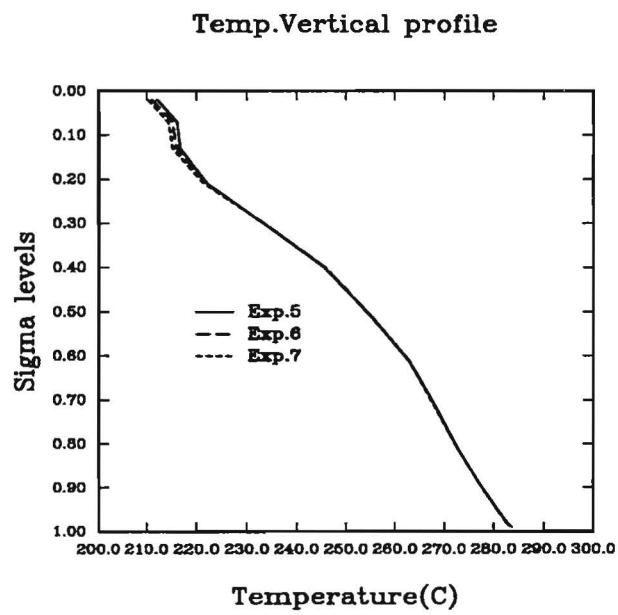
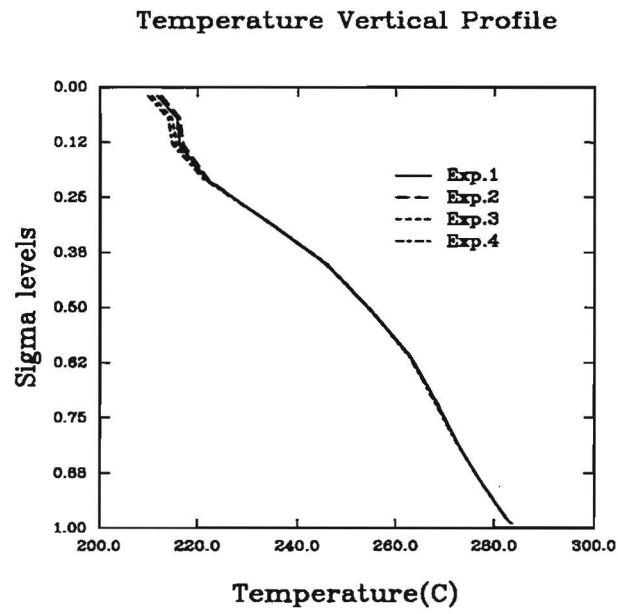


Figure 16: Perfil vertical medio de temperatura

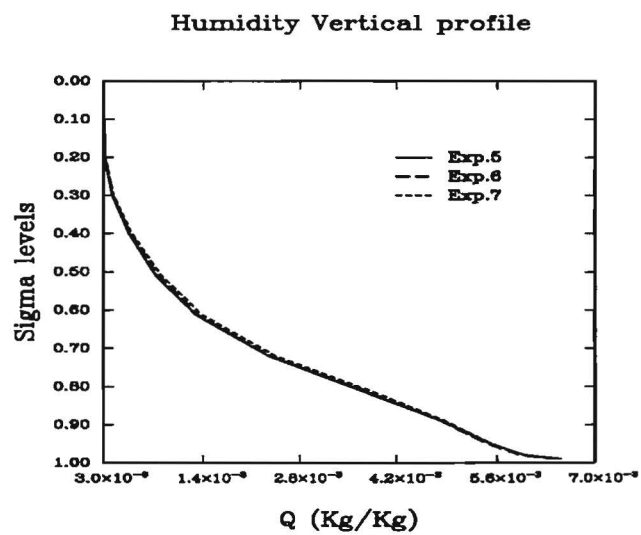
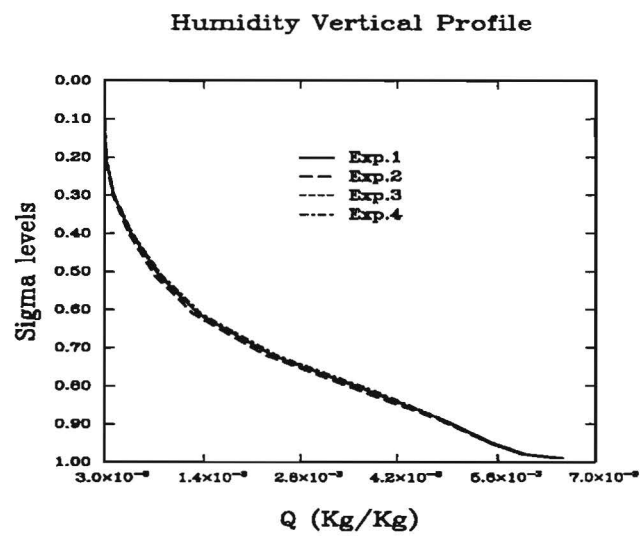


Figure 17: Perfil vertical medio de humedad

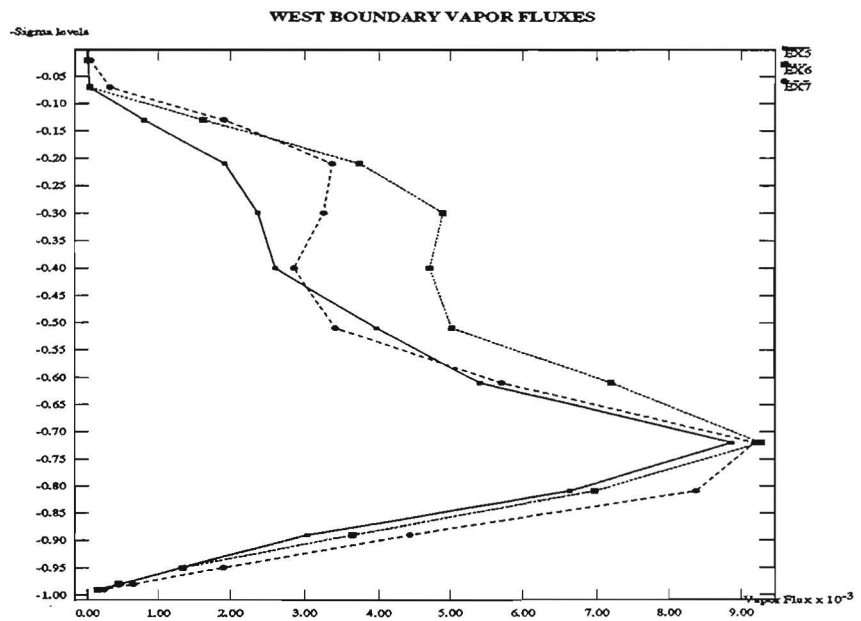
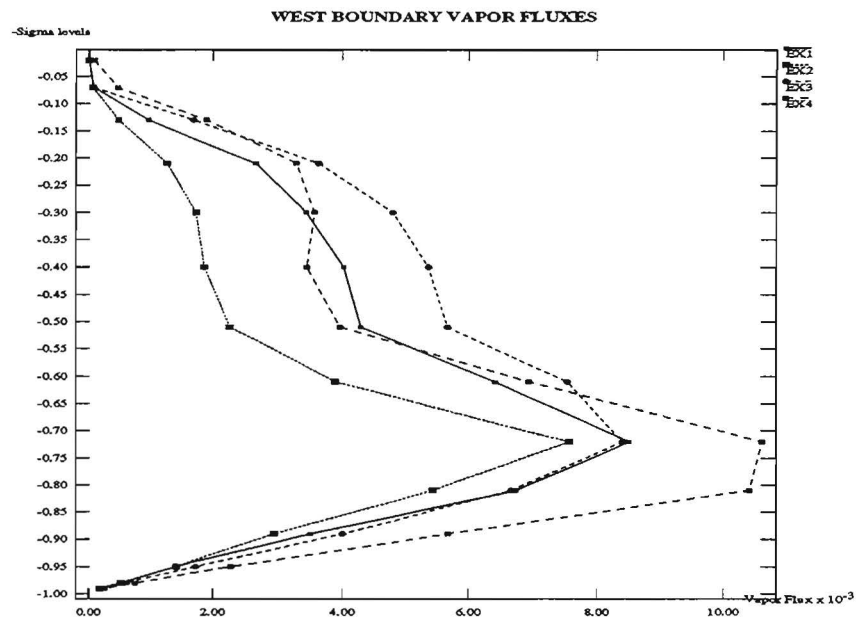


Figure 18: Flujo de humedad a traves de la frontera occidental



